

VISIT...

LANZAROTE
Caliente.COM



Г.М.-А. АЛИЕВ

ТЕХНИКА
ПЫЛЕУЛАВЛИВАНИЯ
И ОЧИСТКИ
ПРОМЫШЛЕННЫХ
ГАЗОВ

СПРАВОЧНИК

Г. М.-А. Алиев

**ТЕХНИКА
ПЫЛЕУЛАВЛИВАНИЯ
И ОЧИСТКИ
ПРОМЫШЛЕННЫХ
ГАЗОВ**

СПРАВОЧНИК



МОСКВА «МЕТАЛЛУРГИЯ» 1986

Рецензент — канд. техн. наук В. Н. Шаприцкий

УДК 628.511+669.015.7.074

Техника пылеулавливания и очистки промышленных газов: Справ. изд.
Алиев Г. М.-А. М.: Металлургия, 1986. 544 с.

Систематизированы сведения о методах, приборах и аппаратуре для измерения параметров пылегазовых выбросов, образующихся при производстве металла, цемента, удобрений, синтетических моющих средств, сжигании бытовых отходов, энергетических углей и сланцев и др. Даны справочные материалы по свойствам пылей и золы. Рассмотрены конструкции современных пылеулавливающих аппаратов, методы их расчета и подбора, а также правила эксплуатации оборудования. Дана методика расчета численности эксплуатационного и ремонтного персонала. Приведены технические решения по установкам газоочистки и пылеулавливания, а также опыт утилизации уловленной золы и пыли.

Для инженерно-технических работников предприятий, научно-исследовательских институтов, проектных и проектно-исполнительских организаций, инспекторов по охране воздушного бассейна. Может быть полезна студентам вузов. Ил. 307. Табл. 107. Библиогр. список: 159 назв.

А 2601000000—046
040—(01)—86 9—86

© Издательство «Металлургия», 1986

ОГЛАВЛЕНИЕ

Предисловие	5
Глава 1. Методы контроля эффективности работы газоочистных и пылеулавливающих аппаратов. Способы определения параметров пылегазовых потоков	7
1.1. Источники пылеобразования	7
1.2. Классификация методов измерения концентрации пыли	11
1.3. Весовой метод измерения концентрации пыли	14
1.4. Автоматические и полуавтоматические пылемеры	51
1.5. Методы расчета эффективности работы пылеуловителей	57
1.6. Способы определения физико-химических свойств пылей	61
Глава 2. Инерционные пылеуловители	80
2.1. Классификация аппаратов	80
2.2. Пылевые камеры и инерционные пылеуловители	82
2.3. Циклоны	88
2.4. Батарейные циклоны	110
2.5. Вихревые пылеуловители	125
2.6. Пылеуловители ротационного действия	129
2.7. Эксплуатация инерционных пылеуловителей	132
Глава 3. Фильтры	140
3.1. Классификация фильтров	140
3.2. Фильтры-туманоуловители	142
3.3. Тканевые фильтры	153
3.4. Методы расчета и подбора тканевых фильтров	195
3.5. Зернистые фильтры	206
3.6. Эксплуатация тканевых фильтров	217
Глава 4. Электрофильтры	224
4.1. Основные параметры процесса электрической фильтрации газов	224
4.2. Конструктивные узлы электрофильтров	234
4.3. Системы регенерации электродов электрофильтров	247
4.4. Изоляторы и изоляторные коробки электрофильтров	251
4.5. Сухие электрофильтры	256
4.6. Мокрые электрофильтры	266
4.7. Методы расчета и подбора электрофильтров	269
4.8. Факторы, влияющие на эффективность работы электрофильтров	275
4.9. Агрегаты питания, подстанции и высоковольтные кабели	287
4.10. Способы интенсификации работы электрофильтров	300
4.11. Эксплуатация электрофильтров	304
Глава 5. Мокрые пылеуловители	316
5.1. Классификация аппаратов	316
5.2. Распыливающие устройства мокрых пылеуловителей	317
5.3. Газопромыватели	325
5.4. Скрубберы Вентури	339
5.5. Каплеуловители	345
5.6. Эксплуатация мокрых пылеуловителей	349

Глава 6. Способы выгрузки и транспортировки пыли из аппаратов и систем газоочистки. Использование уловленной золы и пыли

6.1. Устройства для сухой выгрузки пыли	353
6.2. Устройства для мокрой выгрузки пыли и золы	363
6.3. Пылетранспортные механизмы и системы	366
6.4. Эксплуатация систем пылетранспорта	387
6.5. Использование уловленной золы и пыли	390

Глава 7. Установки пылеулавливания и очистки газов в отраслях промышленности

7.1. Выбор технических решений	399
7.2. Обеспыливание газов в цементной промышленности	403
7.3. Очистка газов чугунолитейных вагранок	413
7.4. Очистка газов агломерационного производства	418
7.5. Обеспыливание газов при производстве окатышей	423
7.6. Очистка доменного газа	425
7.7. Обеспыливание газов мартеновских печей	429
7.8. Очистка конвертерных газов	433
7.9. Очистка газов электросталеплавильных печей	439
7.10. Очистка дымовых газов тепловых электростанций	446
7.11. Улавливание технического углерода из технологических газов	448
7.12. Очистка газов при производстве синтетических моющих средств	452
7.13. Обеспыливание газов при производстве сложных минеральных удобрений	455
7.14. Обеспыливание воздуха при производстве кормовых дрожжей и белково-витаминных концентратов	465
7.15. Очистка газов от неприятно пахнущих веществ	468
7.16. Очистка газов при сжигании твердых бытовых отходов	470
7.17. Методика определения численности эксплуатационного и ремонтного персонала газоочистных и пылеулавливающих установок	480

Глава 8. Физико-химические свойства промышленных пылей, золы энергетических углей и сланцев

8.1. Методика определения свойств пылей и золы	485
8.2. Пыли металлургического производства	489
8.3. Зола энергетических углей и сланцев	499
8.4. Пыли машиностроительного производства	509
8.5. Пыли промышленности строительных материалов	513
8.6. Пыли химического производства	516
8.7. Пыли пищевой и мясомолочной промышленности	522
8.8. Пыли производства синтетических моющих средств	525
8.9. Пыли производства биоконцентратов	528
8.10. Пыли производства удобрений	530
Библиографический список	535
Предметный указатель	542

ПРЕДИСЛОВИЕ

В планах экономического и социального развития страны отмечена необходимость увеличения выпуска высокоэффективных пылеулавливающих аппаратов; совершенствования технологических процессов с целью сокращения выбросов вредных веществ в окружающую среду и улучшения очистки отходящих газов от вредных примесей.

Среди проблем защиты окружающей среды наиболее актуальной является охрана воздушного бассейна, так как загрязненный воздух ухудшает экологические условия, приводит к преждевременному износу основных фондов промышленности, объектов жилищно-коммунального хозяйства и т. д.

Постоянное повышение требований к чистоте атмосферного воздуха, значительное увеличение числа очистных сооружений, создание в стране ряда специализированных научно-исследовательских, проектных и проектно-исполнительских организаций, Государственной инспекции по охране воздушного бассейна и ведомственных служб контроля обусловили необходимость создания данного справочника. Основная цель его издания — показать, что при современном уровне развития техники пылеулавливания специалисты имеют возможность большого выбора оборудования, аппаратов и технических решений, обеспечивающих заданную степень очистки газов и утилизации уловленных полупродуктов практически для любого технологического процесса, а также методик и приборов для определения параметров пылегазовых потоков и эффективности работы пылеуловителей.

Специализированными предприятиями страны серийно выпускается современная высокопроизводительная газоочистная техника — электрофильтры, рукавные фильтры, фильтры-туманоуловители, инерционные пылеуловители и др. Ряд аппаратов аттестован на высшую категорию качества и удовлетворяет требованиям лучших мировых образцов.

В справочнике рассмотрены конструкции, принципы действия, методы расчета и подбора практически всех серийно выпускаемых аппаратов и оборудования, а также опытных образцов, намечаемых к промышленному освоению. При этом учтена современная тенденция применения сухих пылеуловителей, кроме специальных случаев, где мокрые аппараты незаменимы.

В результате интенсификации технологических процессов и строительства новых агрегатов большой единичной мощности (доменных, цементных печей, энергетических котлов и др.) объемы подлежащих очистке газов достигают сотен тысяч, а нередко миллионов кубических метров в час, поэтому современные очистные установки — это дорогостоящие и энергоемкие сооружения; их эксплуатация с показателями ниже проектных приводит не только к загрязнению атмосферы и потере ценных полупродуктов, но и ухудшает экономические показатели предприятий. Поэтому в справочнике систематизированы практические рекомендации по наладке, пуску и эксплуатации аппаратов и установок, рассмотрены характерные неисправности оборудования и способы их устранения.

При проектировании новых и реконструкции существующих установок необходимо учитывать накопленный опыт в ме-

таллургии, цементной, пищевой, химической промышленности, в производстве синтетических моющих средств и др. В помощь инженерно-техническим работникам предприятий дана методика определения численности эксплуатационного и ремонтного персонала газоочистных установок. Для вариантной проработки новой схемы очистки приведены технико-экономические показатели промышленных установок с рукавными фильтрами, скрубберами Вентури, электрофильтрами, циклонами и пр.

В справочнике даны полные сведения о дисперсности, абразивности, химическом составе, угле естественного откоса и других параметрах около 100 видов промышленных пылей и золы энергетических углей и сланцев. При подготовке этой главы использованы материалы Скрыбиной Л. Я.

Автор выражает благодарность Ивановой Т. Н., Шелетовскому Г. С. и Орловой Т. Г. за помощь, оказанию при подготовке рукописи, а также рецензенту Шаприцкому В. Н. за ценные советы и указания.

Автор будет признателен за все замечания и предложения, которые просит направлять по адресу: 119857, Москва, Г-34, 2-й Обыденский пер., д. 14, издательство «Металлургия».

Глава 1 МЕТОДЫ КОНТРОЛЯ ЭФФЕКТИВНОСТИ РАБОТЫ ГАЗООЧИСТНЫХ И ПЫЛЕУЛАВЛИВАЮЩИХ АППАРАТОВ. СПОСОБЫ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ПАРАМЕТРОВ ПЫЛЕГАЗОВЫХ ПОТОКОВ

1.1. ИСТОЧНИКИ ПЫЛЕОБРАЗОВАНИЯ

В промышленности в результате переработки различного сырья и полуфабрикатов путем механического, термического и химического воздействия на них образуются отходящие промышленные газы, в которых содержатся взвешенные частицы.

Пыль в газах, отходящих от цементных и сырьевых сушилок, мельниц, печей обжига колчедана, в аспирационном воздухе пневмотранспортных устройств и т. д., является следствием осуществления механических процессов измельчения твердых тел (дробления, размалывания, перемешивания, истирания и др.), пересыпки и транспортировки сыпучих материалов. В дымовых, генераторных, доменных, коксовых и других подобных газах содержится пыль, образующаяся в процессе горения топлива. Как продукт неполного сгорания органических веществ и топлива при недостатке воздуха образуется и уносится сажа. Если в газах содержатся какие-либо вещества в парообразном состоянии, то при охлаждении до определенной температуры пары конденсируются и переходят в жидкое или твердое состояние. Примерами взвесей, образовавшихся путем конденсации, могут служить: туман серной кислоты в отходящих газах выпарных аппаратов, туман смол в генераторных и коксовых газах, пыль цветных металлов (цинка, олова, свинца, сурьмы и др.) с низкой температурой испарения в газах. Пыли, образующиеся в результате конденсации паров, называются *возгонами*.

Газы (в том числе и воздух), содержащие взвешенные частицы, относятся к аэродисперсным системам. *Дисперсными* принято называть системы, состоящие из мелкоизмельченных частиц (дисперсная фаза), распределенных в какой-либо дисперсионной среде (воде, растворителе, воздухе).

Аэродисперсными системами, или *аэрозолями*, называют системы, в которых дисперсионной средой является газ, а дисперсной фазой — твердые (пыль) или жидкие (туман) частицы. Дисперсная фаза может состоять из частиц одинакового размера (*монодисперсная система*) или из частиц разного размера (*полидисперсная система*). Промышленные газы обычно представляют собой сложные аэродисперсные системы, в которых дисперсионная среда является смесью разных газов, а взвешенные частицы полидисперсны и имеют различное агрегатное состояние.

Взвешенные частицы в зависимости от размера распределяются на фракции. Размер взвешенных частиц выражается чаще всего в микрометрах (мкм). Иногда частицы классифицируют по скорости витания (в тех случаях, когда состав пыли определяют методом воздушной классификации), а их диаметр определяют по номограмме (рис. 1.1).

Фракцией называют массовую долю частиц, размеры которых находятся в интервале значений, принятых в качестве нижнего и верхнего пределов. Частицу произвольной формы условно считают шарообразной, а ее размер определяют по эквивалентному диаметру. Пыль, например

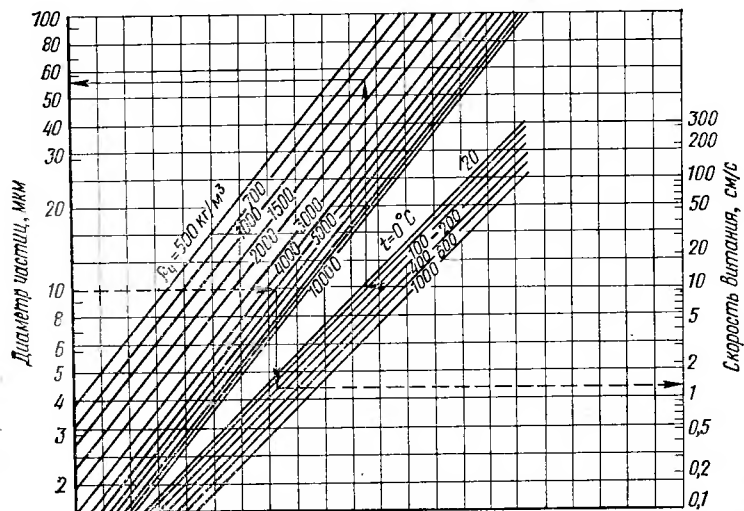


Рис. 1.1. Номограмма для определения скорости витания частиц

содержащую частицы размером до 100 мкм, можно разделить на следующие фракции:

Номер фракции	1	2	3	4	5
Размер частиц, мкм	0—5	>5—10	>10—15	>15—20	>20—30
Номер фракции	6	7	8	9	
Размер частиц, мкм	>30—40	>40—60	>60—90	>90—100	

При выборе метода и аппарата для очистки газов необходимо установить происхождение газовых взвесей, так как возможность разделения газовой неоднородной системы определяется главным образом размерами взвешенных частиц, а они зависят от условий образования взвесей. В большинстве случаев взвеси, образовавшиеся в результате механических процессов, состоят из частиц диам. 5—50 мкм и более; взвеси, образовавшиеся вследствие термических и химических процессов, состоят из частиц диам. до 3 мкм, а взвеси, получающиеся в результате горения, — в основном из частиц диам. 5—70 мкм. Очень мелкие частицы, входящие в состав конденсированных взвесей, во многих случаях могут соединяться в более крупные хлопьевидные частицы. Такое явление укрупнения частиц называется *коагуляцией*; оно возникает при столкновении и соприкосновении частиц, а также осаждении

пыли в виде порошка и осадка. К коагуляции более склонны мелкие частицы; частицы размером более 100 мкм почти не коагулируют.

Концентрация взвешенных частиц в некоторых промышленных газах и содержание их по отношению к готовому продукту приведены в табл. 1.1.

В большинстве случаев взвешенные в газах частицы обладают положительным или отрицательным электрическим зарядом. Пыли заряжаются в процессе дробления или распыления материала, при трении или контакте с поверхностью оборудования и коммуникаций, движении через раскисленную среду (заряжание ионами в результате термоионной или фотоэлектрической эмиссии электронов).

Дымы заряжаются при движении через раскаленные среды в результате ионизации в пламени, термоионной и фотоэлектрической эмис-

ТАБЛИЦА 1,1

КОНЦЕНТРАЦИЯ ВЗВЕШЕННЫХ ЧАСТИЦ В ПРОМЫШЛЕННЫХ ГАЗАХ

Источник образования газов	Средняя концентрация взвешенных частиц, г/м ³	Содержание взвеси по отношению к готовому продукту, % (по массе)
----------------------------	--	--

Металлургическая промышленность

Конвертеры:

для выплавки стали с продувкой кислорода сверху	20—40	1—5
для переработки меди	6—10	3—6
Печи:		
доменные	10—40	4—16
шахтные и отражательные для выплавки свинца и олова	3—20	3—12
мартеновские без подачи кислорода в ванну	1—2	0,15—0,3
то же, с подачей кислорода в ванну	10—15	1,5—2,5
для плавки латуни	1—5	2—4

Обработка угля

Мельницы	20—50	2—3
Сушилки:		
для бурого угля	12—25	6—12
для каменного угля	10—20	3—5

Сушильные установки

Для извести и гипса	5—20	4—20
Для хлористого калия	5—20	3—8
Для руд и на установках кальцини- ции	30—100	10—25

Продолжение табл. 1.1

Источник образования газов	Средняя концентрация взвешенных частиц, г/м³	Содержание взвеси по отношению к готовому продукту, % (по массе)
<i>Химическая промышленность</i>		
Концентраторы серной кислоты . . .	6—20	1,5—6,0
Печи:		
механические для обжига колчедана	2,5—5,0	3—6
для обжига пылевидного колчедана	20—80	20—80
для обжига колчедана в кипящем слое	50—200	—
сажевые (и сажевые генераторы)	20—30	100
<i>Цементная промышленность</i>		
Вращающиеся печи:		
при мокром способе производства	20—50	6—15
при сухом способе производства	30—60	8—20
Сушилки для сырья	20—80	8—25
Цементные мельницы	20—50	3—6
<i>Электрические печи</i>		
Карбидные	0,9—2,0	1—2
Для выплавки стали	2—10	1,5—7
Для выплавки алюминия	0,5—1,6	0,5—1,5
Фосфорные	2,1—9,0	0,5—2,5

сии электронов. Туманы заряжаются в результате распыления, при барботировании газов через жидкости.

Кроме того, взвешенные частицы могут заряжаться в результате химических реакций, под действием рентгеновского или радиоактивного излучения и электрической индукции. Этот естественный электрический заряд взвешенных частиц условно называется *трибозаряд*.

Число положительно заряженных частиц в аэрозолях может быть равно числу отрицательно заряженных, что, как правило, наблюдается для весьма мелких частиц при однородном химическом их составе. В ряде случаев преобладают частицы, несущие заряд одного знака.

Седиментационной скоростью частицы называется скорость оседания, которую приобретает частица в спокойной среде под влиянием силы тяжести. Эта скорость зависит от размера частицы, ее формы и плотности, а также от плотности и вязкости среды.

Седиментационным диаметром частицы называется диаметр шара, скорость оседания и плотность которого соответственно равны скорости оседания и плотности частицы неправильной формы.

1.2. КЛАССИФИКАЦИЯ МЕТОДОВ ИЗМЕРЕНИЯ КОНЦЕНТРАЦИИ ПЫЛИ

Методы измерения концентрации пыли делятся на две группы: 1) основанные на предварительном осаждении частиц пыли и исследовании осадка и 2) без предварительного осаждения. Основным преимуществом методов первой группы является возможность измерения массовой концентрации пыли; к недостаткам следует отнести циклический характер измерения, большую трудоемкость, низкую чувствительность, обуславливающую длительный пробоотбор при измерении малых концентраций.

Преимуществами методов второй группы являются возможность непосредственных измерений в самом пылегазовом потоке без использования пробоотборного устройства, непрерывность измерений, высокая чувствительность, практическая безынерционность, возможность полной автоматизации процесса измерений. Во время измерений поток не подвергается аэродинамическому искажению. Существенным недостатком методов второй группы является влияние на полученный результат измерения дисперсного состава и других свойств пыли.

Для промышленного пылевого контроля характерны широкий диапазон измеряемых концентраций (от нескольких миллиграммов до десятков граммов на кубический метр); широкий спектр размеров частиц пыли (от 0,05 до 100 мкм); высокие скорости (до 40 м/с) и температуры (до 500 °C) контролируемых пылегазовых потоков. Кроме того, сама концентрация пыли, являясь дискретной величиной, непрерывно изменяется в довольно широких пределах в зависимости от режима работы пылеуловителя.

Применительно к непрерывному промышленному контролю наиболее приемлемыми являются методы второй группы. Они дают непрерывную информацию о мгновенных значениях концентрации пыли в потоке и закономерностях ее изменения, что позволяет, во-первых, организовать автоматическое регулирование режимов работы пылеуловителя; во-вторых, установить сигнализацию об увеличении концентрации пыли выше допустимой; в-третьих, останавливать производство в аварийных ситуациях, когда очистные установки вышли из строя. Однако методы второй группы не всегда можно использовать на практике из-за высокой чувствительности к нестационарным флуктуациям, связанным с внешними и внутренними факторами (температурой и влажностью среды; параметрами источника питания прибора) и др.

Методы измерения концентрации пыли, основанные на предварительном осаждении частиц

Весовой метод. К достоинствам весового метода следует отнести прежде всего то, что он измеряет массовую концентрацию пыли, и на его показания не влияют изменения химического и дисперсного состава пыли, формы частиц, их оптических, электрических и других свойств. Метод позволяет измерять большие концентрации пыли. Техника измерения сравнительно проста, но сам процесс измерения довольно длителен и трудоемок. С точки зрения непрерывного промышленного пылевого контроля весовой метод не удовлетворяет основному требованию — непрерывности измерения. Однако в последнее время найден способ получения непрерывной информации о мгновенном значении концентрации пыли в выбросах [1], который состоит в следующем. Поскольку накопление пыли на фильтре является процессом интегрирования, то, имея непрерывный сигнал $U_{вх}(t)$ о нарастании массы осевшей пыли, можно автоматически дифференцировать его, чтобы получить выходной сигнал

$U_{\text{вых}} = dU_{\text{вх}}(t)/dt$, соответствующий мгновенному значению концентрации пыли. Осуществление метода требует полной автоматизации всех измерительных операций, что обуславливает сложность и высокую стоимость аппаратуры.

Несмотря на указанные недостатки, весовой метод нашел самое широкое применение при осуществлении пылевого контроля выбросов промышленных предприятий; в настоящее время он является общепринятым методом измерения концентрации пыли. Все существующие и вновь разрабатываемые пылемеры, основанные на других методах измерения, градуируют, используя весовой метод в качестве контрольного. Однако это не всегда метрологически правильно, поскольку разрабатываемые методы, как правило, превосходят по точности весовой метод.

Проведем метрологическую оценку весового метода. Суммарная погрешность измерения концентрации пыли весовым методом включает погрешность отбора пробы из пылегазового потока из-за нарушения условий изотопности и изокINETичности, осаждения частиц пыли на стенках пробоотборной трубки; погрешность фильтрации; погрешность измерения массы уловленной пыли.

Погрешность отбора пробы для частиц размером порядка 1 мкм составляет 0,5—1 %, для частиц в 10 мкм 5—15 %. Однако при использовании способа внешней фильтрации погрешность возрастает за счет осаждения частиц пыли в пробоотборной трубке. Погрешность фильтрации возникает из-за неполноты улавливания; при использовании тканевых и бумажных фильтров она составляет 1—2 %. Погрешность при измерении объема отобранной пробы диафрагмой равна ± 2 %.

В общем случае применение весового метода дает погрешность порядка 10 %; ясно, что величина погрешности в значительной степени зависит от класса применяемого оборудования и контрольно-измерительных приборов.

Кроме весового метода, разработаны и другие методы пылевого контроля, основанные на исследовании осажденного слоя пыли.

Денситометрический метод основан на предварительном осаждении частиц пыли на фильтре и определении оптической плотности пылевого осадка. Он включает все операции весового метода, исключая взвешивание пробы, которое заменено фотометрированием. Оптическую плотность осадка определяют путем измерения поглощения или рассеяния им света. Коэффициент корреляции, полученный в результате сравнения весового и денситометрического методов, равен 0,93. Основным недостатком этого метода — зависимость результатов измерений от оптических свойств пыли.

Пьезоэлектрический метод основан на изменении собственной частоты колебаний пьезокристалла во время осаждения на его поверхности частиц пыли. При малых амплитудах колебаний кристалла уменьшение частоты колебаний последнего Δf прямо пропорционально массе m осевшей на нем пыли: $\Delta f = At$, где A — коэффициент пропорциональности.

В принципе пьезоэлектрический метод является перспективным, так как он позволяет измерять массовую концентрацию пыли. Однако для широкого промышленного внедрения метода необходимо решить две проблемы: увеличить силу захвата частиц активной поверхностью кристалла и обеспечить периодическую очистку этой поверхности от осевшей пыли.

Метод, основанный на измерении перепада давления на фильтре. Он включает прокачивание порции пылегазового потока через фильтр и измерение разности давлений на входе и выходе фильтра. Результаты измерения пропорциональны массовой концентрации пыли. Достоинст-

вом метода является сравнительная простота его реализации. Однако он требует строгой стабилизации основных параметров пылегазового потока (скорости, температуры и др.).

Методы измерения концентрации пыли без предварительного ее осаждения

Существует несколько типов автоматических пылемеров с различными принципами действия.

Электрические методы. К группе пылемеров, разработанных на базе этого метода, относится контактно-электрический. Он основан на способности пылевых частиц электризоваться при контактировании с преградой, выполненной из контактно-активного материала, и отдавать приобретенный поверхностный заряд токопроводящим элементам преграды. Основными элементами контактно-электрического измерительного преобразователя являются электризатор, в котором происходит зарядка частиц, и токосъемный электрод. Зависимость массовой концентрации частиц от силы зарядного тока в цепи токосъемного электрода имеет линейный характер при концентрации пыли до 2 г/м³, когда большая часть частиц пыли контактирует с внутренней поверхностью электризатора и токосъемного электрода и суммарная величина регистрируемого заряда пропорциональна количеству частиц.

На электризацию частиц существенное влияние оказывают дисперсность, влажность, температура и другие свойства пылегазового потока. Установлено, что для получения максимальной чувствительности скорость частиц в электризаторе должна составлять 105—115 м/с [1].

Практическое применение метода ограничивается его недостатком — большим влиянием на результаты измерения влажности, при увеличении которой происходит залипание проходного отверстия электризатора.

Акустический метод основан на измерении параметров акустического поля при наличии частиц пыли в рабочем зазоре между источником и приемником звука. Величина потерь звуковой энергии, обусловленных наличием взвешенных твердых частиц, пропорциональна объемной концентрации пыли. К недостаткам метода можно отнести сложность аппаратного оформления метода, вследствие чего он не нашел промышленного применения.

Оптические методы занимают ведущее место среди других для непрерывного контроля пылевых выбросов в промышленности. Он является наиболее простым и надежным, поэтому на базе оптических методов разработаны промышленные пылемеры, используемые во многих странах мира для контроля выбросов цементных заводов, тепловых электростанций и др. В основу оптических пылемеров положены явления поглощения света движущимся пылегазовым потоком и рассеяния света движущимися частицами пыли. Точность и достоверность результатов пылевого контроля при использовании оптических методов определяются главным образом стабильностью свойств частиц пыли. Для практических целей имеются ограничения по дисперсному составу пыли, который не должен изменяться при колебаниях ее концентрации.

На основе явления поглощения созданы оптические абсорбционные пылемеры, на основе явления рассеяния — оптические пылемеры светорассеяния. Из них первые нашли применение при измерении концентраций до нескольких граммов на кубический метр, вторые могут быть использованы при измерении низких концентраций.

Оптические пылемеры, применяемые в промышленности, рассмотрены далее.

1.3. ВЕСОВОЙ МЕТОД ИЗМЕРЕНИЯ КОНЦЕНТРАЦИИ ПЫЛИ

Основные правила для отбора проб. Свойства частиц пыли, взвешенной в газовом потоке, существенно отличаются от свойств уловленной пыли, так как определенная доля осаждаемых частиц представляет собой пылевые агрегаты, состоящие из слипшихся пылинок. Во всех сухих пылеуловителях образуется слой пылевых агрегатов с последующей регенерацией поверхности осаждения. Ясно, что чем крупнее агрегаты, тем более высокая степень очистки в пылеуловителе.

В настоящее время из физико-химических свойств пыли, которые могут быть определены непосредственно в газовых потоках (газоходах), можно назвать только ее дисперсный состав и удельное электрическое сопротивление [2, 3]. Остальные свойства пыли, несмотря на то, что они зависят от реальных условий и параметров газообразной среды (температуры, влажности, химического состава), определяют в лабораторных условиях на основании анализа проб, отобранных из газоходов или вентиляционных воздухопроводов.

Движение газопылевого потока в газоходах характеризуется развитой турбулентностью (обычно $Re > 10^4$). В этих условиях распределение частиц по сечению, перпендикулярному к направлению движения потока, зависит от гравитации, турбулентности, вращения потока и частиц, отскока частиц от упругих стенок канала, термо- и фотофореза, электрического и молекулярного притяжения (для горизонтальных потоков; для вертикального движения можно исключить гравитацию) [1].

При движении пылегазового потока по газоходу круглого сечения небольшого диаметра большую роль в распределении частиц по сечению играет их отскок от стенок. Даже если отсутствует видимый осадок, происходит выпадение частиц, которые затем вновь переходят во взвешенное состояние. Особенно это явление сказывается на распределении концентраций по сечению горизонтальных газоходов: наиболее тяжелые частицы движутся скачкообразно в нижней части газохода, где концентрация, естественно, возрастает. В результате создается состояние динамического равновесия, определяющееся равенством потоков оседающих и переводимых вновь во взвешенное состояние частиц. С увеличением скорости потока высота скачков и эффект от вращения частиц также возрастают: частицы могут преодолевать вдоль поперечного сечения газохода расстояния, равные его диаметру. В результате с увеличением скорости движения происходит выравнивание концентрации пыли по сечению потока [4—6].

В промышленных газоходах возможны три характерных вида пылевых профилей в зависимости от размера частиц (рис. 1.2). Для крупных частиц концентрация пыли достигает максимального значения в центре газохода и почти линейно падает по направлению к стенкам (рис. 1.2, а). Инерция частиц столь велика, что турбулентность потока лишь в незначительной степени влияет на радиальное движение частиц. Формирование профиля определяется в основном процессами соударения частиц пыли со стенками газохода и друг с другом. Указанный пылевой профиль характерен для частиц размером более 180 мкм. Для мелких частиц (менее 5 мкм) отношение сил инерции к силе трения незначительно, и частицы следуют в направлении движения пылегазового потока. Поэтому профиль последнего соответствует профилю скоростей (рис. 1.2, б). Для переходной области размеров частиц (рис. 1.2, в) концентрация пыли в центре газохода минимальна, на участках, граничащих со стенками, — максимальна. Чем мельче пыль и меньше скорость потока, тем ближе к стенкам располагаются максимумы концент-

рации частиц пыли. Это можно объяснить уменьшением длины пролета частиц после столкновения со стенкой газохода по мере увеличения их размера.

Поэтому при отборе пробы пыли из газохода должны соблюдаться все требования, которые предъявляются при определении ее концентрации в пылегазовом потоке:

носик пылезаборной трубки должен быть направлен навстречу газовому потоку соосно с основным его направлением; отклонение не должно превышать 5°;

скорость газа во входном отверстии наконечника пылезаборной трубки должна быть равна скорости пылегазового потока в измеряемой точке; допускается превышение первой над второй не более 10 %;

отбираемая проба должна быть достаточно представительной, т. е. отвечать среднему распределению частиц по размерам в рабочем сечении газохода; при расчете по отобранной пробе концентрации пыли она должна быть равна среднему ее значению в газоходе.

Кроме того, должно быть обеспечено выполнение двух дополнительных условий: масса отобранной пробы пыли должна быть достаточной для определения исследуемого свойства, а при определении всего комплекса свойств должна составлять около 800 г; применяемое в пылезаборной установке фильтрующее устройство должно обеспечивать извлечение всей массы уловленной пыли с точностью до 3 %.

Важным фактором, влияющим на точность получаемых результатов, является скорость во входном отверстии используемого пробоотборного устройства, которая должна быть равна скорости запыленного потока в газоходе (изокINETический отбор газа). Если скорость отбора превышает скорость газового потока, более крупные частицы пыли из внешней части отбираемого объема газа, стремясь по инерции сохранить прежнее направление движения, пройдут мимо входного отверстия пробоотборного устройства. В результате полученная величина запыленности окажется заниженной, а отобранная пыль будет более мелкой. При отборе с пониженной скоростью произойдет обратное явление. Более крупные частицы пыли из внешней отклоняемой и не входящей в отбираемый объем части газового потока по инерции пройдут во входное отверстие пробоотборного устройства. Полученная при этом величина запыленности окажется завышенной, а отобранная пыль будет более крупной. При отклонении входного отверстия от положения, перпендикулярного направлению газового потока, даже при соблюдении равенства скоростей будут получены заниженные результаты по запыленности, а отобранная пыль будет более мелкой.

Представительность результатов измерений зависит от места расположения пылезаборной трубки в газоходе. Возможные варианты размещения пылезаборной трубки в газоходе представлены на рис. 1.3. При отборах пробы по схемам, представленным на рис. 1.3, а—в, получается неверный результат из-за того, что поток пылевых частиц разбивается непосредственно после изгиба газохода или у входа в труб-

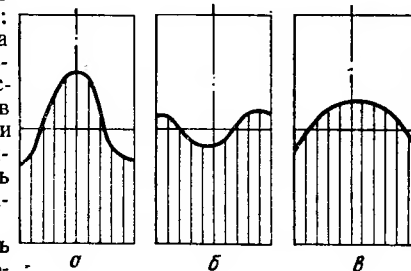


Рис. 1.2. Характерные пылевые профили в газоходах

а — крупная пыль; б — переходный профиль; в — мелкая пыль

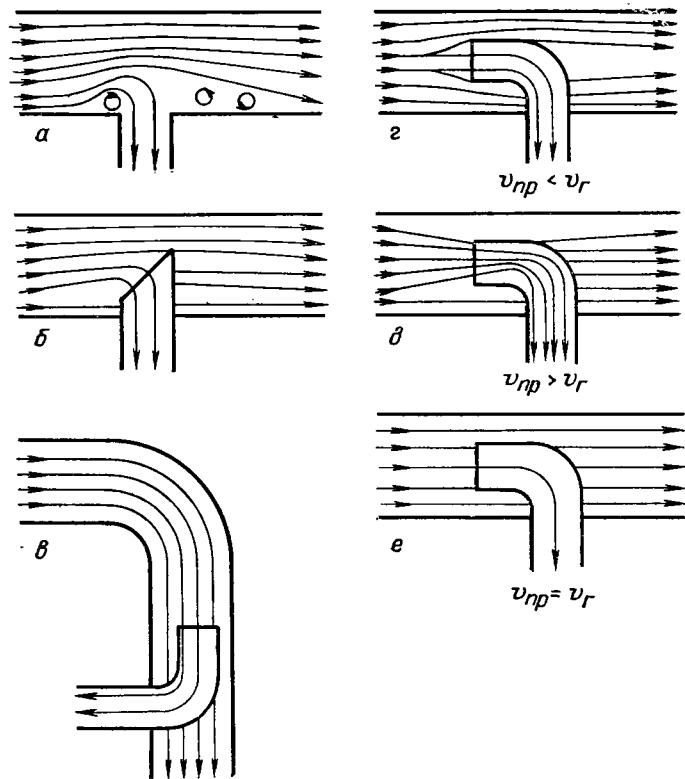


Рис. 1.3. Варианты размещения пылесборной трубки в газоходе

ку. Только при расположении трубки параллельно основному потоку в невозмущенной его части при соблюдении условия изокинетичности (рис. 1.3, е) можно получить наиболее достоверный результат. При нарушении условия изокинетичности (рис. 1.3, г и д) концентрация отобранной пыли не будет равна концентрации пыли в потоке.

Для получения представительных результатов необходимым условием является правильный выбор сечений газоходов для замеров. Измерительное сечение выбирается в третьей четверти длины выбранного участка по ходу газа. При отсутствии достаточно длинных прямолинейных участков место отбора проб должно находиться ближе к концу участка. Не рекомендуется производить отбор проб непосредственно после дымососов, циклонов, если они не имеют выпрямляющих поток устройств. Желательно выбирать вертикальные участки газоходов. На горизонтальных участках большой протяженности концентрация пыли в нижней части сечения газохода выше, чем в верхней, а пыль более грубодисперсна. Участки круглого сечения предпочтительнее квадратных, а квадратные — прямоугольных. Скорость газа в измерительном сечении трубопровода должна быть не менее 4 м/с.

Даже при соблюдении всех перечисленных требований в измери-

тельных сечениях сохранится некоторая неравномерность распределения пылегазового потока (а отсюда и неравномерность распределения пыли, и ее неоднородность по свойствам, тем большая, чем сложнее конфигурация газохода). Поэтому пробы следует отбирать в различных местах сечения, условно разделяя его на ряд равновеликих площадей.

Если газоход имеет прямоугольное сечение, его разбивают на площади, подобные сечению газохода, плоскостями, параллельными его стенкам, и измерения производят в центре каждого полученного прямоугольника (рис. 1.4). Сторона такого прямоугольника не должна пре-

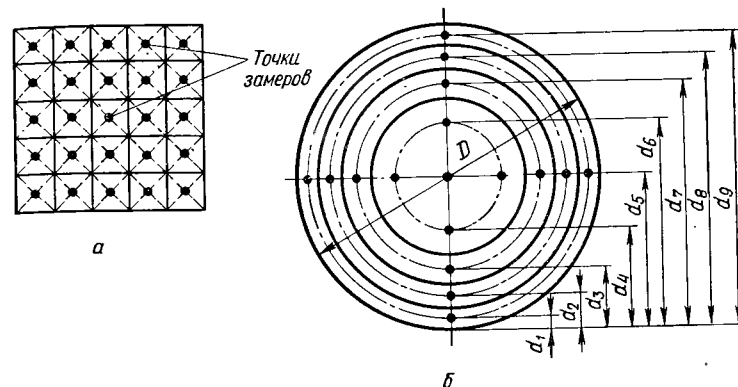


Рис. 1.4. Разбивка газохода на равновеликие площади:
а — прямоугольное сечение; б — круглое сечение

вышать 150—200 мм. Минимальное число измерительных точек — три в каждом направлении. На двух взаимно перпендикулярных сторонах газохода по осям, на которых расположены центры прямоугольников, прорезают отверстия диам. 50 мм и в этих местах приваривают короткие (25—30 мм) штуцера из отрезков труб с внутренним диам. 50 мм, которые закрывают металлической крышкой с резьбой. Для поддержания трубки во время замеров рекомендуется приваривать к газоходу перпендикулярно его оси рядом со штуцером стальной пруток.

Газоходы круглого сечения разбивают на ряд concentric колец с равновеликими площадями, и измерение производят по двум взаимно перпендикулярным диаметрам, для чего к стенке газохода приваривают два штуцера. Расстояние между штуцерами — четверть окружности газохода. Можно считать, что достаточно надежные результаты могут быть получены, если газоходы круглого сечения будут разбиты на следующее число колец:

Диаметр газохода, мм	200	200—400	400—600	600—800	800—1000	1000
Число колец	3	4	5	6	8	10

Если требования, предъявляемые к выбору сечений для замеров, выдержать не удалось, число колец должно быть увеличено. Расстояние от центра газохода до точки замера l_i определяется по формуле

$$l_i = R \sqrt{(2i - 1)/2n}, \quad (1.1)$$

где R — радиус газохода; n — число колец, на которые разделена площадь газохода; i — порядковый номер кольца (считая от центра).

В практических целях удобно пользоваться расстоянием от внутренней стенки газохода в месте ввода заборной трубки до точки замера. Для круглого газохода это расстояние может быть рассчитано по формуле

$$l_n = K_n D, \quad (1.2)$$

где D — диаметр газохода; K_n — коэффициент (выбирается по табл. 1.2).

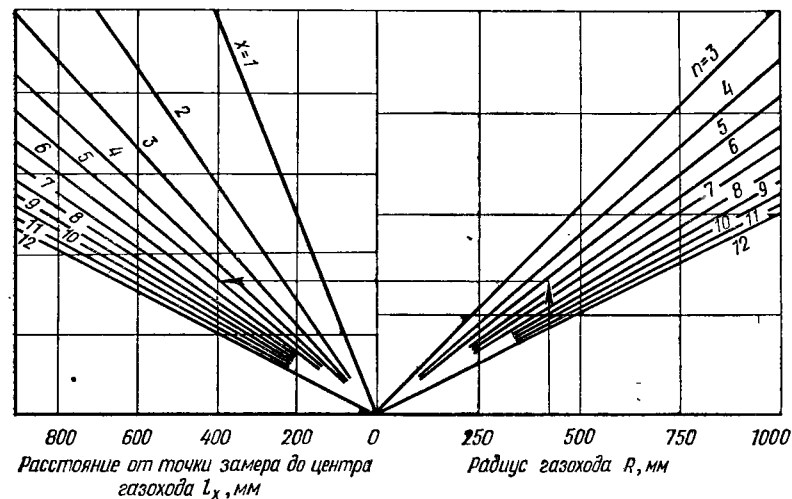


Рис. 1.5. Номограмма для определения числа колец

Для получения необходимых величин вместо расчетов по формуле (1.1) удобно пользоваться номограммой, приведенной на рис. 1.5 [2].

Порядок пользования номограммой следующий. На оси абсцисс находят точку, соответствующую радиусу газохода, и из нее проводят вертикаль до пересечения с линией, соответствующей заданному n ; из точки пересечения проводят горизонталь до линии, соответствующей $x=n$. Абсциссы точек пересечения горизонтали с линиями дают искомые значения.

Пример. Газоход диам. 950 мм разделен на пять равновеликих колец. Требуется определить, в каких точках следует устанавливать пневмометрические и заборные трубки.

На номограмме проводим вертикаль от точки, соответствующей $R=452$ мм, до пересечения с линией, соответствующей $n=5$, и от точки пересечения проводим горизонталь до пересечения с линиями, соответствующими $x=1$; $x=3$; $x=2$; $x=4$ и $x=5$. Абсциссы этих точек дают искомые расстояния точек замера от центра газохода: 134, 230, 300, 356, 402 мм.

Измерение расхода пылегазового потока. При исследовании эффективности работы аппаратов и систем газоочистки необходимым условием является определение расхода (объема) пылегазового потока. Скорость и расход пылегазового потока можно измерить анемометрами, дроссельными приборами, ротаметрами, газовыми счетчиками.

ТАБЛИЦА 1.2

КОЭФФИЦИЕНТ K_n ДЛЯ ВЫЧИСЛЕНИЯ РАССТОЯНИЯ ОТ ВНУТРЕННЕЙ СТЕНКИ ГАЗОХОДА ДО ТОЧКИ ОТБОРА ПРОБЫ ПО ФОРМУЛЕ (1.2)

K_n	Число равновеликих колец									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
K_1	0,146	0,067	0,044	0,032	0,026	0,021	0,018	0,016	0,014	0,012
K_2	0,500	0,250	0,146	0,105	0,082	0,067	0,072	0,049	0,043	0,026
K_3	0,854	0,500	0,296	0,194	0,146	0,118	0,098	0,096	0,075	0,067
K_4	—	0,750	0,500	0,324	0,226	0,177	0,146	0,124	0,109	0,093
K_5	—	0,933	0,704	0,500	0,342	0,25	0,212	0,169	0,146	0,129
K_6	—	—	0,854	0,676	0,500	0,356	0,267	0,22	0,188	0,165
K_7	—	—	0,956	0,806	0,658	0,500	0,366	0,283	0,238	0,204
K_8	—	—	—	0,895	0,774	0,644	0,500	0,375	0,297	0,25
K_9	—	—	—	0,968	0,854	0,750	0,634	0,500	0,382	0,306
K_{10}	—	—	—	—	0,918	0,823	0,733	0,625	0,500	0,388
K_{11}	—	—	—	—	0,974	0,882	0,788	0,717	0,618	0,500
K_{12}	—	—	—	—	—	0,933	0,854	0,780	0,703	0,612
K_{13}	—	—	—	—	—	0,979	0,902	0,831	0,762	0,694
K_{14}	—	—	—	—	—	—	0,928	0,876	0,812	0,750
K_{15}	—	—	—	—	—	—	0,982	0,924	0,854	0,796
K_{16}	—	—	—	—	—	—	—	0,951	0,891	0,835
K_{17}	—	—	—	—	—	—	—	0,984	0,925	0,871
K_{18}	—	—	—	—	—	—	—	—	0,957	0,907
K_{19}	—	—	—	—	—	—	—	—	0,986	0,933
K_{20}	—	—	—	—	—	—	—	—	—	0,964
K_{21}	—	—	—	—	—	—	—	—	—	0,988

Примечание. Значение $K_n=0,5$ соответствует центру газохода.

В технике пылеулавливания расход запыленных и горячих газов удобно определять пневмометрическими трубками. Для них не нужны длинные участки для равномерности потока, поскольку эти приборы служат для измерения локальных скоростей. Трубки невелики по размерам, поэтому их можно ввести в газоход через небольшие штуцеры; они не создают добавочного сопротивления потоку и часто из-за сложной конфигурации газоходов являются единственными приборами для измерения скорости газопылевого потока.

Основной недостаток измерения с помощью пневмометрической трубки — необходимость зондирования сечения газохода для установления профиля поля скоростей с последующим интегрированием профиля.

Следовательно, пневмометрическими трубками нельзя проводить экспресс-измерения.

При определении скорости пылегазового потока пневмометрическими трубками используют соотношение

$$w = \sqrt{2p_d / \rho_r}, \quad (1.3)$$

где p_d — динамическое давление, Па;

ρ_r — плотность газов, кг/м³.

Динамическое давление, определяемое пневмометрическими трубками, представляет собой разность между полным давлением потока p , действующим в направлении вектора скорости газов, и статическим

давлением $P_{ст}$, действующим в направлении, перпендикулярном вектору скорости:

$$P_d = P - P_{ст}. \quad (1.4)$$

Поскольку давления (перепады давлений) при пылегазовых замедлениях чаще всего измеряются приборами, дающими значения измеряемых величин в высотах столба воды, ртути или другой жидкости, при этом удобно пользоваться уравнениями, включающими величины с единицами системы МКГСС, кгс/м² (мм вод. ст.):

$$w = \sqrt{\frac{2P_d g}{\gamma}} \quad (1.5)$$

$$\text{и } P_d = P - P_{ст}, \quad (1.6)$$

где $g=9,81$ — ускорение силы тяжести, м/с²; γ — удельный вес газа, кгс/м³.

Пневмометрическая трубка имеет два канала, один из которых воспринимает полное давление, а другой — только статическое. При подключении обоих каналов к показывающему прибору для измерения перепадов давления таким образом, чтобы воспринимаемые давления были направлены навстречу друг другу, прибор покажет разность между полным и статическим давлениями, т. е. динамическое давление.

В зависимости от конструкции статическое давление воспринимается пневмометрической трубкой с большими или меньшими отклонениями от его истинной величины, что в свою очередь влечет за собой некоторое искажение при замерах динамического давления. Поэтому величины динамических давлений, полученных с помощью пневмометрических трубок, приходится умножать на поправочный коэффициент K , являющийся безразмерной величиной, представляющей собой отношение истинного значения P_d , Па, или P_d , мм вод. ст., к измеряемой его величине P_x или P_x :

$$P_d = P_x K \text{ или } P_d = P_x K.$$

Для каждой конструкции пневмометрической трубки коэффициент K определяется либо параллельными замерами скорости газового потока данной трубкой и трубкой, коэффициент которой известен, либо на тарировочных стендах в специализированных лабораториях.

Материалом для изготовления пневмометрических трубок обычно служит латунь или сталь. Трубки для температур газового потока до 200 °С паяют оловом, а для более высоких температур — твердым припоем, например серебром; пользуются также сваркой.

На рис. 1.6 приведены конструкции пневмометрических трубок.

Большой диаметр трубки полного давления у трубки Пито (рис. 1.6, а) позволяет использовать ее при больших запыленностях пылегазового потока. Однако значительные погрешности, возникающие при небольших отклонениях трубки от оси пылегазового потока, ограничивают их применение.

Трубка Прандтля (рис. 1.6, б) дает погрешность до 2 %. При отклонении трубки от оси потока не более 15° ее можно не тарировать. Основной недостаток трубки — при запыленности газов свыше 10 г/м³ она быстро забивается пылью.

Трубка конструкции НИИОгаза (рис. 1.6, в) для замера статического давления имеет фасонный вырез и припаивается перед стержнем трубки полного напора. Показания динамического напора трубки этой конструкции почти вдвое больше действительного, что важно при измерении небольших скоростей. Определять статический напор этой трубки

нельзя, так как требуется вычисление поправочного коэффициента. Конструкция трубки позволяет легко продувать и прочищать ее, что дает возможность многократных измерений без засорений.

Трубка конструкции Гинцветмета (рис. 1.6, г) цилиндрического профиля имеет два канала (для измерения полного и статического напоров), заключенные в оправляющую их трубку большого диаметра. Наконечник оправляющей трубки имеет два отверстия, соединенных с внутренними трубками (лобовое — с трубкой для измерения полного напора, тыльное — статического напора). Достоинством пневмометрической трубки конструкции Гинцветмета является стабильность показаний

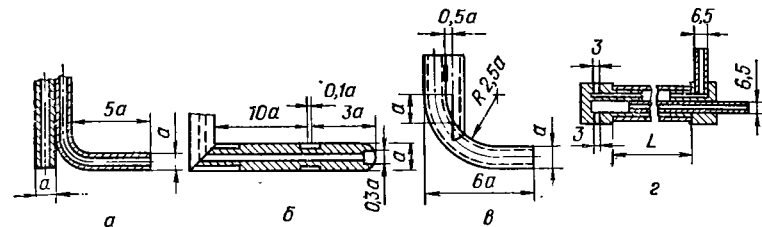


Рис. 1.6. Комбинированные пневмометрические трубки:

а — трубка Пито; б — трубка Прандтля; в — трубка конструкции НИИОгаза; г — трубка конструкции Гинцветмета

при отклонении оси отверстий от оси пылегазового потока до 20°. Она мало чувствительна к забиванию пыли.

Основные характеристики рассмотренных пневмометрических трубок приведены ниже.

	Пито	Прандтля	Конструкции НИИОгаза	Конструкции Гинцветмета
Коэффициент K	1±0,1	1±0,04	0,51±0,02	0,49
Допустимое отклонение от оси пылегазового по- тока, град*	2	15	15	20
Допустимая запылен- ность газов для измере- ний, г/м**	300	1	300	—

* При погрешности $P_d = \pm 3\%$.

** При diam. 10 мм не забивается в течение 5 мин.

При изготовлении пневмометрических трубок необходимо иметь в виду, что тонкостенными трубками (рис. 1.6, в, г) полное давление можно измерить с точностью до 1 % величины динамического давления набегающего пылегазового потока в пределах углов скоса потока $\varphi = \pm 20^\circ$. В то же время толстостенные трубки делают прибор чувствительным к скосу потока. Коническая раззенковка толстостенной трубки приводит к снижению чувствительности к скосу в пределах $\pm 30^\circ$. Сверловка нескольких радиальных отверстий по периметру трубки во входном ее участке (рис. 2.5, д) делает трубку практически нечувствительной к скосу ($\varphi = \pm 30 \div 35^\circ$).

Характеристика пневмометрической трубки также зависит от конфигурации конца трубки, направленного навстречу газопылевому потоку.

ку. Полусферическая головка (рис. 1.7, а) в зависимости от диаметра отверстия изменяет чувствительность пневмометрической трубки к скосу пылегазового потока до 15° . Менее чувствительна к скосу потока трубка с коническим наконечником (рис. 1.7, б). Экранирование трубки (рис. 1.7, в) кожухом с плавным входом делает трубку практически нечувствительной к скосу пылегазового потока.

Приемники для определения статического давления в пневмометрической трубке выполняются в виде отверстий или кольцевой щели (рис. 1.8) на боковой поверхности трубки. С целью уменьшения чувствительности прибора к скосу пылегазового потока выбирают такое расположение отверстий, при котором давление в одном отверстии уравнивается разрежением

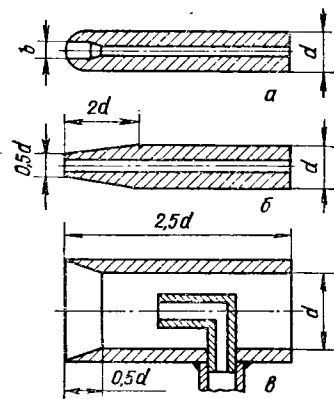


Рис. 1.7. Конфигурация конца пневмометрических трубок

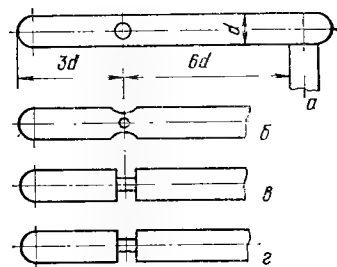


Рис. 1.8. Конфигурация приемников для измерения статического давления

в другом (рис. 1.8, а, б). Трубка такой конструкции допускает угол скоса потока в определенной плоскости до $\pm 25^\circ$. Заострение кромок щели (рис. 1.8, в, г) позволяет измерять давление, близкое к статическому давлению пылегазового потока.

На характеристику пневмометрической трубки существенно влияет расположение отверстий в насадке, поэтому для исключения погрешностей из-за искривления линий тока в районе головки необходимо строго соблюдать указанные размеры.

Алонжи набиваются стеклянной ватой и асбестовым волокном так, чтобы при расходе газа 20 л/мин их гидравлическое сопротивление составляло 1000—1200 Па. Тампон из стеклянной ваты применяется для осаждения в нем основной массы наиболее крупных частиц и поэтому не должен быть плотным. Мелкие частицы улавливаются в асбестовом тампоне. Размер и плотность последнего устанавливают опытным путем. Количество асбеста должно быть таким, чтобы последние 5—10 мм длины тампона не содержали видимой осевшей пыли. Для предотвращения выноса частиц асбеста после тампона (по ходу газа) в алонж вставляется пружинная латунная сетка.

Бумажные фильтры перед использованием высушивают в сушильном шкафу при температуре 80°C в течение 20—30 мин, после чего выдерживают в течение суток на воздухе и взвешивают. Параллельно с этим производят взвешивание контрольного пакета фильтров (обычно 10 шт.). После запыления фильтры вновь выдерживают в весовой комнате в течение суток, а затем их взвешивают; одновременно взвешивают контрольный пакет фильтров. По изменению массы контрольного пакета фильтров корректируется масса запыленных фильтров.

Тканевые фильтры и патроны с набивкой из стеклянной ваты и асбестового волокна выдерживают в весовой комнате до стабилизации их массы за счет высыхания или поглощения гигроскопической влаги. Эта операция повторяется после запыления.

Расходомеры. Расходомер переменного перепада состоит из двух элементов: сужающего устройства и прибора для измерения перепада давления. В практике применяются три вида дроссельных устройств (рис. 1.9). В технике пылеулавливания для измерения объема отбира-

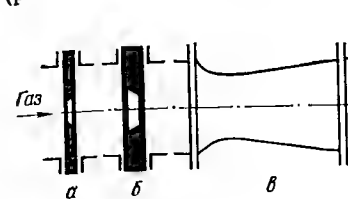


Рис. 1.9. Типы дроссельных устройств:

а — диафрагма; б — сопло; в — труба Вентури

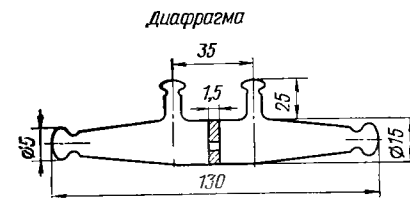


Рис. 1.10. Диафрагма стеклянная

емых для пробы порций пылегазового потока обычно используют реометры, составной частью которых являются стеклянные диафрагмы (рис. 1.10).

Отношение диаметра отверстия d диафрагмы к внутреннему диаметру D трубки диафрагмы находится в пределах 0,3—0,4; количество пропускаемого через диафрагму газа (л/мин) определяется по формуле

$$Q = K \epsilon \sqrt{\Delta p / \rho},$$

где K — расходный коэффициент диафрагмы; Δp — перепад давления на диафрагме, Па; ρ — плотность газа при рабочих условиях, кг/м^3 ; ϵ — коэффициент, учитывающий изменение объема газа и зависящий от отношения перепада давления в диафрагме к начальному давлению газа перед ней. Для стеклянных диафрагм $\Delta p / p = 0,97$.

Учитывая, что расходный коэффициент диафрагмы зависит от значений Re , диафрагмы тарируют; диафрагма с отклонениями значений расходного коэффициента свыше 2% бракуется. Параметрические соотношения предельных значений Re для разных диафрагм приведены ниже.

Отношение d/D	0,2	0,3	0,4	0,5	0,55	0,6
$10^3 Re_{пред}$	18	28	42	64	81	105
Отношение d/D	0,65	0,7	0,75	0,8	0,85	0,9
$10^3 Re_{пред}$	135	166	204	252	342	480

Способы тарировки диафрагм изложены в [7].

В связи с несимметричностью профиля оплавленного рабочего отверстия диафрагмы изменение направления движения газа обуславливает изменение расходного коэффициента, поэтому после тарировки на диафрагму наносятся стрелка, указывающая направление газа, номер диафрагмы и ее расходный коэффициент.

Реометры заводского изготовления бывают двух типов: с жестким соединением диафрагмы с дифференциальным манометром (рис. 1.11) и с поворотной пробкой, имеющей пять отверстий (диафрагм), предна-

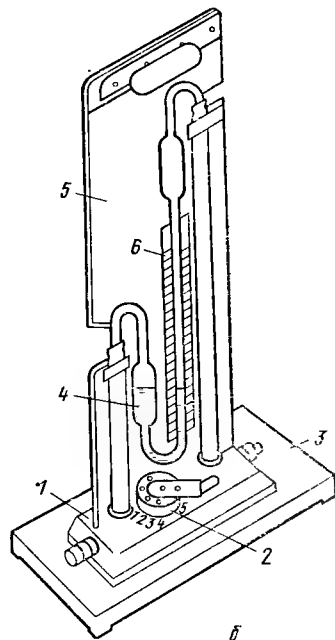
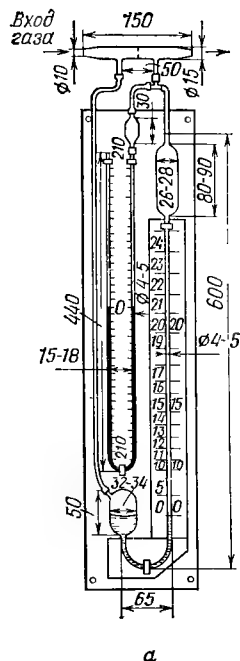


Рис. 1.11. Реометры:

а — заводского изготовления; б — лабораторного изготовления

значенных для измерения расхода газа в пределах 1—80 л/мин. Погрешность таких реометров составляет $\pm 7\%$ от верхнего предела показаний. На практике применяются и другие типы реометров, изготовленных на предприятиях и в исследовательских лабораториях.

Ротаметр представляет собой вертикальную трубку, несколько расширенную сверху, внутри которой находится поплавков, свободно перемещающийся в измеряемом газовом потоке. Поплавок при протекании газового потока поднимается до тех пор, пока кольцевой зазор между поплавком и стенкой трубки не увеличивается настолько, что подъемная сила, действующая на поплавок, уравновесится весом поплавка. Прибор должен устанавливаться строго вертикально (рис. 1.12).

Ротаметры просты по конструкции, достаточно точны, но чувствительны к загрязнению трущихся поверхностей. При больших запыленности и влагосодержании газа увеличиваются силы трения, что может привести к заклиниванию поплавка и большим погрешностям.

Шкалы или градуировочные кривые ротаметров или реометров отвечают вполне определенному значению плотности газа, при которой производилась тарировка. Практически же приходится работать при других плотностях, температурах и давлениях газа. Кроме того, основные параметры газа в точке отбора пробы могут значительно отличаться от соответствующих параметров газа в расходомере.

Все это учитывается формулой

$$q_{\text{ш}} = 47100 d_0^2 \omega_{\text{г}} \frac{T_{\text{р}} P_{\text{р}}}{T_{\text{г}} P_{\text{р}}} \sqrt{\rho_{\text{р}} / \rho_{\text{к}}}, \quad (1.7)$$

где $q_{\text{ш}}$ — объемный расход газов по шкале расходомера во время отбора пробы, л/мин; d_0 — диаметр пылезабортного отверстия, м; $\omega_{\text{г}}$ — скорость потока газов, из которого отбирается проба, м/с; $T_{\text{р}}$ и $T_{\text{г}}$ — температура газов соответственно в расходомере и в газоходе, К; $P_{\text{р}}$ и $P_{\text{г}}$ — абсолютные давления в расходомере и газоходе, кПа или мм рт. ст.; $\rho_{\text{р}}$ — действительная плотность газов у расходомера, кг/м³; $\rho_{\text{к}}$ — плотность газа, при которой производилась калибровка прибора, кг/м³.

В формулу (1.7) входит отношение давлений, поэтому выбор единиц измерения для давления не имеет значения. Поскольку после расходомера обычно устанавливается ртутный U-образный манометр, величину давления удобно подставлять в мм рт. ст.

Источники разрежения. При проведении пылегазовых измерений в зависимости от местных условий используют ротационные воздушодувки, компрессоры, аспираторы, а при наличии сжатого воздуха — эжекторы (рис. 1.13).

Тягодутьевой аппаратурой служат бытовые пылесосы с производительностью не менее 40 л/мин. Их применение недопустимо в случае конденсации влаги из-за увлажнения обмоток двигателя. Во избежание этого при влагосодержании, соответствующем точке росы 40 °С и выше, необходимо предварительно прогреть обмотки двигателя в течение 5—10 мин в режиме холостого хода до температуры 60 °С.

Пробоотборные устройства

Отбор уловленной пыли. В ряде случаев для исследования свойств пылей пробы берут из накопительных бункеров пылеуловителей или из транспортеров. Тогда для улучшения представительности в пробу должны входить порции пыли, взятые на различной высоте и по возможности равномерно по площади поперечного сечения бункера.

Обычно пробы пыли отбираются в точках, равномерно отстоящих друг от друга по высоте бункера, и не менее чем в 3—5 местах горизонтального сечения бункера. Если пылеуловитель, например многослойный электрофильтр, имеет несколько бункеров, то пыль отбирают из каждого бункера и затем ее смешивают в массовом соотношении, пропорциональном степени пылеулавливания каждым полем.

Пыль из бункеров отбирают специальными пробоотборниками [3]. Пробоотборник вводят в бункер через штуцера, приваренные к его противоположным стенкам через каждые 50—70 см по высоте. Допускается отбор пыли в процессе разгрузки бункера. Струю пыли по всему сечению одновременно пересекают плоской ковевой. Порции пыли отбирают таким путем через несколько временных интервалов, соединяют и тщательно перемешивают.

Отбор пыли из газохода. Для размещения контрольно-измерительной аппаратуры и приборов в газоходе к его стенке приваривают специальные штуцера (рис. 1.14). Осаждение пробы пыли из отбираемого объема газа осуществляется в пылеотделительном устройстве, которое может располагаться вне газохода (внешняя фильтрация) или вводить-

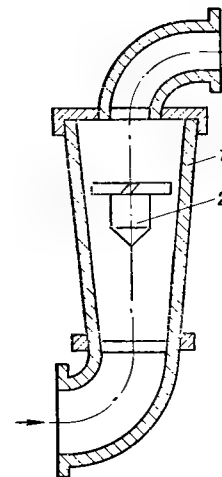


Рис. 1.12. Схема поплавкового ротаметра:

1 — корпус; 2 — поплавок

ся внутрь газохода (внутренняя фильтрация). Метод внешней фильтрации обеспечивает отбор большой массы пыли (100—200 г) при однократном заборе, быструю смену фильтрующих элементов и отбор пробы запыленного газа с высокой температурой. Метод внутренней фильтрации применяется для отбора проб влажных газов в случае возможной конденсации влаги или смол, осаждающихся на внутренних стенках трубки.

Пробу запыленного газа отбирают из газохода с помощью заборной трубки, снабженной набором сменных наконечников различного

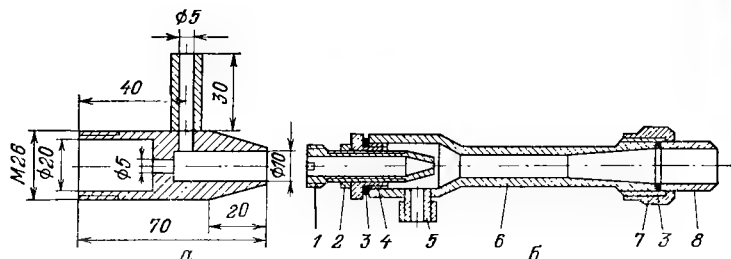


Рис. 1.13. Паровой эжектор:

а — производительностью до 150 л/мин; б — производительностью до 500 л/мин; 1 — эжектор; 2 — контргайка; 3 — прокладка; 4, 5 — штуцера; 6 — насадка; 7 — гайка; 8 — ниппель

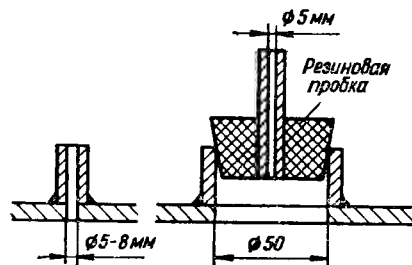


Рис. 1.14. Штуцера для установки на стенке газоходов

универсальная трубка конструкции Семibrатовского филиала НИИЮга-за, пригодная для внешней и внутренней фильтрации (рис. 1.17).

Трубку нужной длины собирают из звеньев. Длина звена 500—700 мм, соединенные резьбовое с уплотнением. Внутренний диам. 8 мм. При отборе проб методом внешней фильтрации в трубку ввинчивают плавное загнутое на 90° колено с гнездом для сменного наконечника. При отборе проб методом внутренней фильтрации ввинчивается фильтрующий элемент (рис. 1.17, б), также снабженный коленом с гнездом для сменного наконечника. Диаметр элемента равен 37 мм. Поэтому его можно вводить в газоход через типовой штуцер с внутренним диам. 50 мм. Для выступающего из газохода участка трубки предусмотрен электрообогрев с целью предотвращения конденсации паров.

При значительных колебаниях скорости пылегазового потока по сечению газохода применяют трубки с уравновешенными статическими напорами — трубки нулевого типа (рис. 1.18). В таких трубках для

диаметра. Наконечники обеспечивают условия изокINETичности отбора пробы.

Нагрев пробоотборной трубки устраняет термофорез и препятствует прилипанию частиц к стенкам. При соприкосновении частиц с горячей стенкой в зоне контакта выделяются десорбирующие из частицы газы и пары и препятствуют образованию прочного адгезионного контакта.

В практике применяется ряд конструкций заборных трубок (рис. 1.15, 1.16). Удобна

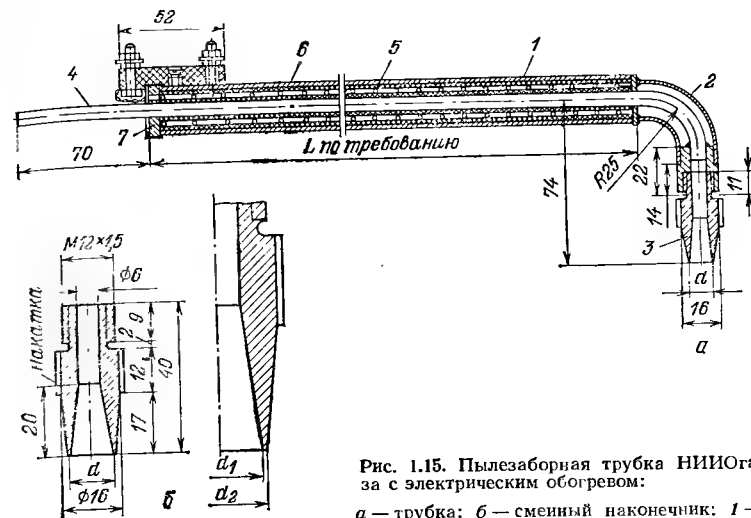


Рис. 1.15. Пылезаборная трубка НИИЮга-за с электрическим обогревом:

а — трубка; б — сменный наконечник; 1 — корпус; 2 — шейка; 3 — наконечник; 4 — стальная трубка диаметром 4—6 мм; 5 — нихромовая обмотка; 6 — асбестовая изоляция; 7 — изолирующая шайба

Примечания: 1. За расчетный диаметр наконечника принимается

$$d = \frac{d_1 + d_2}{2}$$

$$2. d_2 = d_1 + 0,4 \text{ мм}$$

3. Электрообмотки обогрева в зависимости от длины трубки:

Длина трубки, м	Сечение проволоки, мм ²	Длина провода, м	Количество проводов
0,75	1	1,1	1
1,0	1	1,4	1
1,5	1	2,1	2
2,0	0,9	2,6	2

соблюдения изокINETичности отбора достаточно поддерживать нулевую разность статических напоров, измеряемых внутри канала трубки или у входного отверстия и в газовом потоке, омывающем трубку. При использовании трубок нулевого типа следует иметь в виду, что отклонение их от оси встречного направления основного газового потока дает искажение не только массы отбираемой пробы, но и величины расхода газа. Искажение тем значительнее, чем больше диаметр наконечника.

Для отбора проб пыли из газов, имеющих температуру более 500°С, рекомендуется применять водоохлаждаемую пылезаборную трубку с внешней фильтрацией (см рис. 1.16).

Фильтрующие устройства. Для отбора проб методом внутренней

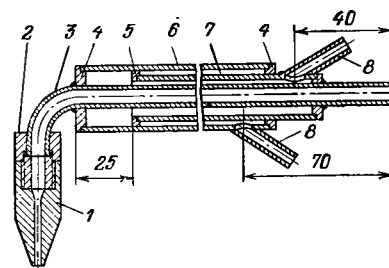


Рис. 1.16. Водоохлаждаемая пылезаборная трубка:

1 — наконечник; 2 — переходник; 3 — трубка пылезаборная; 4 — заглушка; 5 — крестовина; 6 — корпус; 7 — трубка; 8 — штуцер

Technical drawing of a cable assembly, labeled 'a'. The drawing includes a side view and a cross-sectional view.

Side View Dimensions:

- Overall length: L по требованию
- Outer diameter of the main cable: $\varnothing 22$
- Inner diameter of the main cable: $\varnothing 8$
- Length of the main cable section: 148
- Length of the connector section: 42
- Length of the cable section: 37
- Length of the cable section: 14
- Length of the cable section: 14

Labels:

- 1: Connector
- 2: Cable
- 3: Cable
- 4: Cable
- 5: Cable
- 6: Cable
- 7: Cable
- 8: Cable
- 9: Cable
- 10: Cable

Cross-sectional View Dimensions:

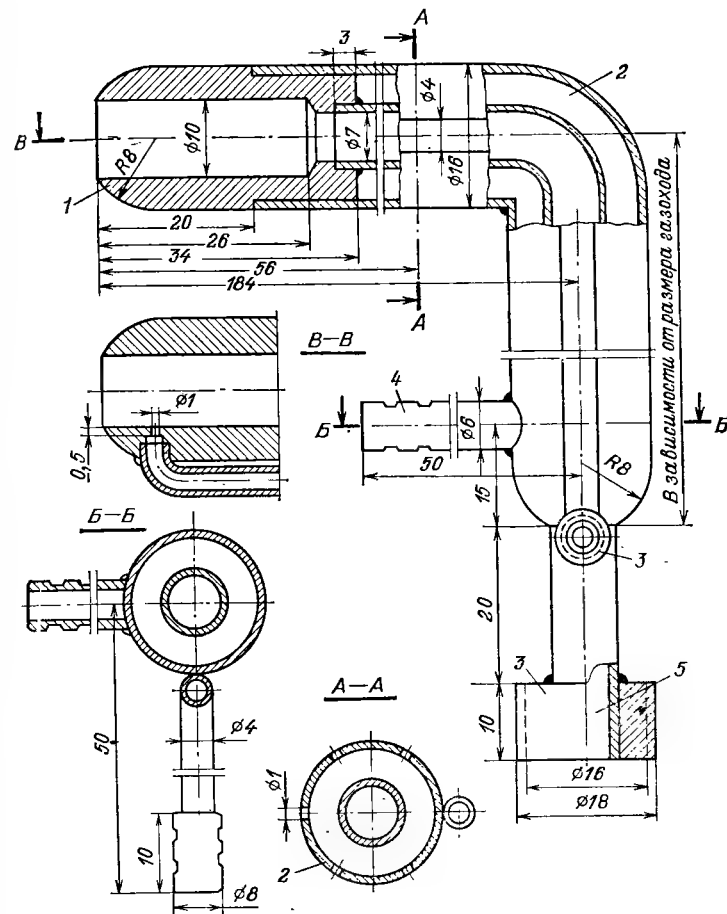
- Outer diameter: d_2
- Inner diameter: d_1
- Angle: 30°
- Length: $14 \times 1,5$

a — трубка со сменным коленом для внешней фильтрации; *б* — фильтрующий элемент для внутренней фильтрации; *в* — сменный наконечник; *1* — гнездо для наконечника; *2* — колено; *3* — свинчиваемые звенья; *4* — трубка; *5* — кожух; *6* — нагреватель; *7* — уплотнение; *8* — корпус фильтрующего элемента; *9* — фильтрующая набивка; *10* — гильза

Стекланные алонжи (рис. 1.20) с набивкой из стекловаты и асбестового волокна, удерживаемого металлической сеточкой, закрепляются в пылезаборной трубке с помощью специального держателя (рис. 1.21), который приварен или навинчен на трубку. При небольшой температуре пылегазового потока вместо металлического держателя на пылезаборную трубку можно надеть небольшой кусок толстостенной резиновой трубки с кордовой прослойкой, в которую плотно вставляется стекланный алонж.

1. Он должен быть изготовлен из качественного стекла с толщиной стенок не менее 1 мм с соблюдением всех размеров.

4. Диаметр входного отверстия носика должен быть измерен с точностью до 0,1 мм.



1 — носик с боковым отверстием для измерения статического напора в газоход; 2 — внешняя трубка для измерения статического напора в газоход; 3 — патрубков анутреннего статического напора; 4 — патрубок внешнего статического напора; 5 — муфта с резьбой для присоединения к циклоу

При отборе проб методом внешней фильтрации используют бумажные или тканевые фильтры. При большой запыленности фильтры быстро забиваются. Для исключения ошибок из-за случайных кратковременных изменений запыленности и для более точного учета объема отбираемого газа время опыта не должно быть очень коротким. С этой целью при большой концентрации частиц перед фильтром устанавлива-

На рис. 1.23 показаны специальные патроны, в которые закладываются бумажные или тканевые фильтры. Фильтрующий элемент — заготовка размером 160×160 мм — складывается, как показано на рис. 1.23, г.

1 2 3 4 5 6 7 15 8
125 170

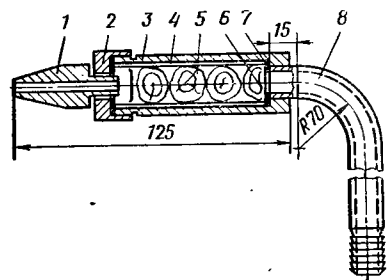


Рис. 1.19. Пылесазорная трубка с фильтровальным патроном из гильзы охотничьего патрона:

1 — наконечник; 2 — крышка; 3 — корпус; 4 — гильза; 5 — фильтрующий элемент; 6 — сетка; 7 — прокладка; 8 — пылезаборная трубка

При температуре газов выше 105 °С или при фильтрации агрессивных газов вместо бумажного фильтра можно применять фильтр, изготовленный из фильтрующего материала, выбранного по табл. 1.3. Фильтр в виде мешочка сшиваются на машине тонкой иглой двойным запошивочным швом. Фильтр из материала ФП можно изготовить термическим склеиванием, прокатывая шов горячим роликом или с помощью паяльника.

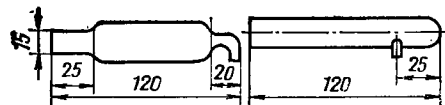


Рис. 1.20. Типы стеклянных алонжей

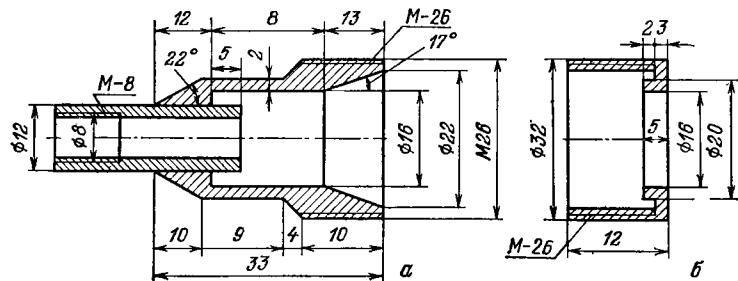


Рис. 1.21. Патрон-держатель для стеклянного алонжа:
а — общий вид; б — держатель

Порядок проведения пылегазовых изменений

Перед началом отбора пробы определяется химический состав газа, измеряются температура в газоходе, влагосодержание газа, статический напор в сечении газохода, выбранном для работы, скорость газа в тех точках сечения газохода, где будет отбираться проба пыли. По этим данным рассчитывают плотность газа при нормальных и рабочих условиях, диаметр входного отверстия сменного накопителя пылезабортной трубки и выбирают метод отбора пробы.

Стеклянная измерительная трубка 7 со шкалой от 0 до 250 мм, полузакрытая металлическим чехлом 8 от повреждений, шарнирно соединена с резервуаром. Она может устанавливаться под различными углами от 0,2 до 0,8 при помощи фиксатора 9 на стойке 10 с пятью отверстиями. Значение угла наклона измерительной трубки представляет собой произведение $\rho_{\text{сп}} \sin \alpha$, где $\rho_{\text{сп}}$ — плотность спирта.

Показания прибора в миллиметрах водяного столба получаются перемножением показаний, отсчитанных по шкале 7, на значение коэффициента K , выбитое на стойке 10.

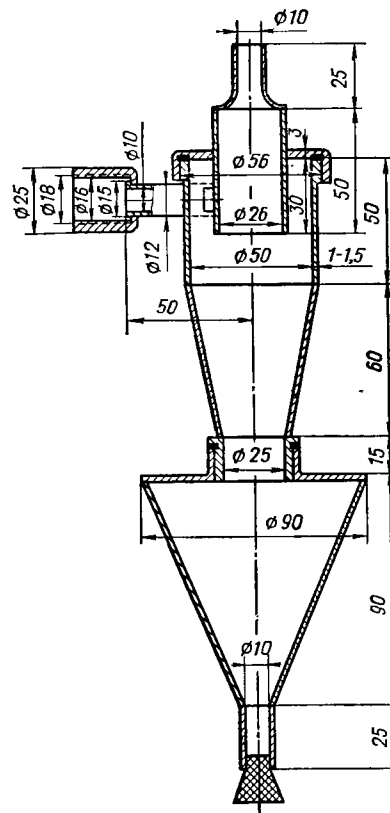


Рис. 1.22. Циклончик ВТИ

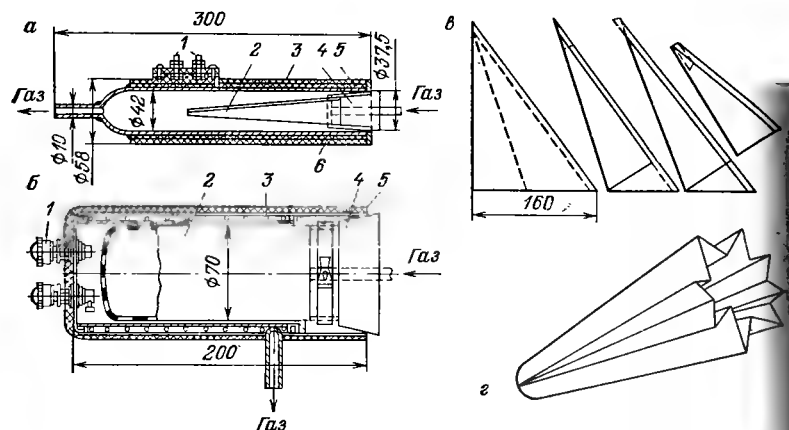


Рис. 1.23. Специальные патроны для фильтров:

a — для бумажных фильтров; *b* — для тканевых фильтров; *в* — схема раскроя фильтра; *г* — бумажный фильтр. 1 — контакты обмотки электрообогрева; 2 — корпус; 3 — обмотка; 4 — фильтры; 5 — корпус

Верхние пределы измерений прибора при различных углах наклона измерительной трубки составляют соответственно: 500, 750, 1000, 1500 и 2000 Н/мм². Точность показаний прибора составляет $\pm 1\%$.

ТАБЛИЦА 1.3

ВОЛОКНИСТЫЕ ФИЛЬТРОВАЛЬНЫЕ МАТЕРИАЛЫ

Материал	Термостойкость, °С	Химическая стойкость в газовой среде	
		кислой	щелочной
Ткань хлориновая фильтровальная, арт. 86006 ГОСТ 20714—75	70	+	+
Вельветон, арт. 3601 ГОСТ 21790—76	80	—	+
Фильтровальный материал ФПФ-10-3	120	+	+
Ткань лавсановая фильтровальная, арт. 860316 ТУ 17 РСФСР 86 53—75	130	+	—
Ткань нитроновая, арт. 133 ТУ 17 РСФСР 5509—72	120	—	+
Фильтровальный материал ФПАП-10-3	180	—	+
Ткань стеклянная фильтровальная ТСФТ-2-СГФ ТУ 6-11-375—76	250	+	+
Фильтровальный материал ФПАР-15-1,5	250—270	+	+
Ткань из кремнеземных нитей КТ-11-С-8/3	600	+	—

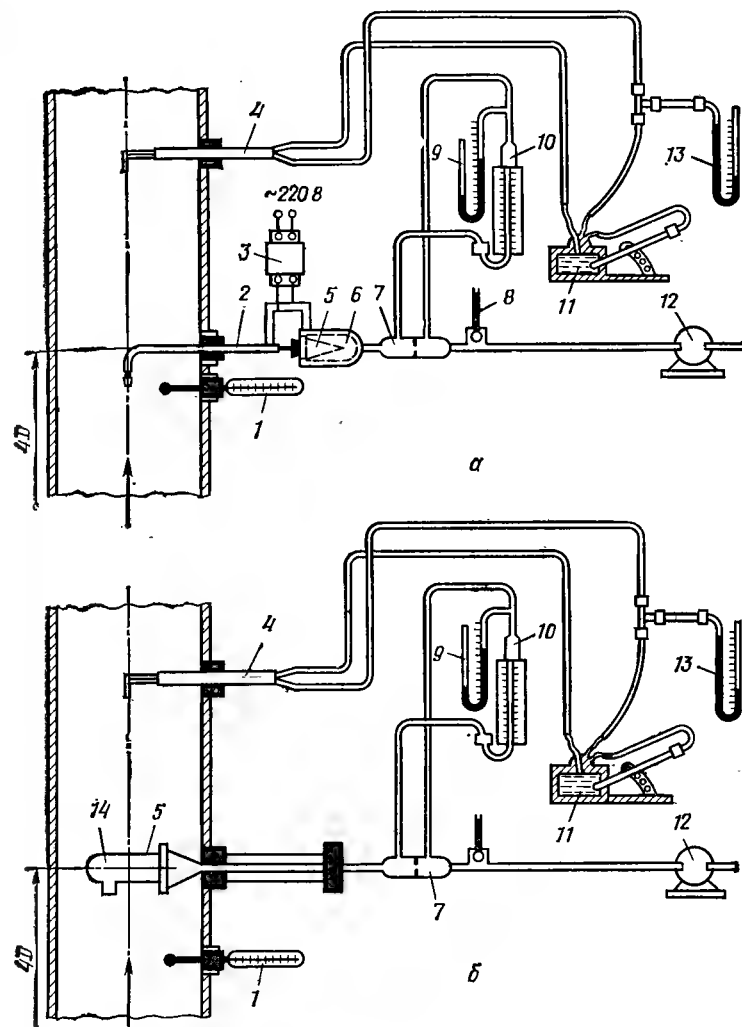


Рис. 1.24. Аппаратурное оформление установки для проведения пылегазовых измерений:

a — внешняя фильтрация; *b* — внутренняя фильтрация; 1 — термометр; 2 — заборная трубка; 3 — трансформатор 220/12 В; 4 — пневмометрическая трубка конструкции НИИОгаза; 5 — бумажный фильтр; 6 — обогреваемый патрон; 7 — диафрагма; 8 — термометр; 9 — манометр; 10 — реометр; 11 — микроманометр; 12 — воздуходувка; 13 — манометр; 14 — стеклянный алонж

При помощи микроманометра измеряются следующие параметры пылегазового потока (рис. 1.26): полное положительное давление (на нагнетательной линии) (рис. 1.26, *a*); полное отрицательное давление

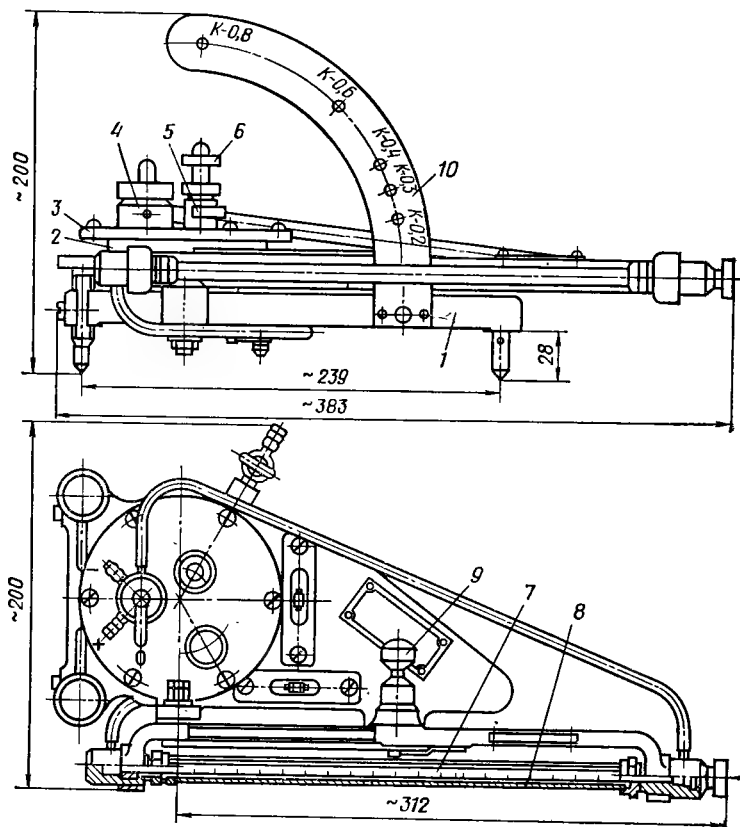


Рис. 1.25. Микроанометр типа ММН

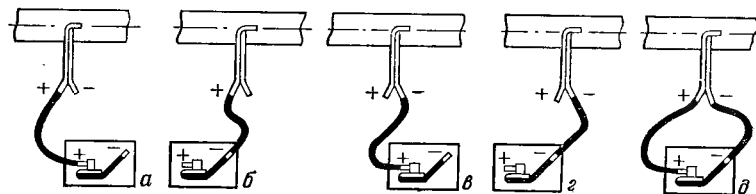


Рис. 1.26. Варианты присоединения пневмометрической трубки к микроанометру для измерения давления:

а — полного положительного; б — полного отрицательного; в — статического положительного; г — статического отрицательного; д — динамического (скоростного)

(на всасывающей линии) (рис. 1.26, б); статическое положительное давление (рис. 1.26, в); статическое отрицательное давление (рис. 1.26, г); динамическое давление (скоростной напор) (рис. 1.26, д).

Если давление в газоходу превышает пределы измерения микроанометра, спирт может попасть в соединительную резиновую трубку, что исказит показания прибора. В этом случае соединительную трубку необходимо продуть и высушить. При попадании влаги в резиновые шланги, соединяющие пневмометрическую трубку с микроанометром, последний даст большие погрешности. Проверку наличия влаги производят путем поочередного поднимания шлангов; при этом показания микроанометра не должны изменяться.

При зондировании поля скоростей пользуются одновременно двумя пневмометрическими трубками, одна из которых постоянно находится в центре газохода, а другая перемещается по диаметру газохода.

Пневмометрические трубки соединяют резиновыми шлангами с микроанометрами таким образом, чтобы трубка, воспринимающая полное давление, была присоединена к штуцеру микроанометра со знаком плюс, а трубка, воспринимающая статическое давление, — к штуцеру со знаком минус.

Пневмометрическую трубку после присоединения к микроанометру проверяют на герметичность. Для этого в каналах трубки поочередно создают давление. Затем плотно закрывают входное отверстие исследуемого канала трубки и следят за постоянством показаний микроанометра.

По окончании подготовительных работ две пневмометрические трубки вставляют в штуцера газохода с помощью надетых на них резиновых пробок (при температуре газа до 150°C) или специальных втулок с сальниковым уплотнением (при более высокой температуре). Одну из трубок помещают в центре газохода, а другую в точке, ближайшей к стенке газохода. Для того чтобы трубку установить точно в центре газохода, следует отложить от ее входного конца отрезок, равный сумме внутреннего радиуса газохода, толщины его стенки, высоты штуцера и длины выступающей пробки, сделать соответствующую отметку и до этой отметки ввести трубку в газоход. После этого отметку на трубке совмещают с точкой на рейке, отвечающей центру газохода. Аналогичным образом ставят отметку на второй трубке, которую устанавливают в точке измерения, ближайшей к центру.

Перед началом измерений обе трубки прогревают в газоходу в течение 15 мин, при этом входное отверстие должно быть направлено по ходу газа. После прогрева трубки разворачивают на 180° так, чтобы входное отверстие располагалось строго навстречу газовому потоку (допустимое отклонение от оси потока не более 5°). Подготовку микроанометра к работе производят согласно инструкции, приложенной к прибору.

Проведение измерений и расчет скорости пылегазового потока

В каждом положении пневмометрической трубки регистрируется значение динамического напора по микроанометру. Для исключения влияния пульсаций пылегазового потока на показания микроанометра в резиновую трубку полного напора вводится дополнительное сопротивление в виде стеклянного капилляра с рабочим отверстием 1—2 и длиной 25—40 мм. Если дополнительное сопротивление не дает желаемого эффекта, то при измерениях фиксируются средние показания микроанометра за 5—10 с.

Одновременно измеряют температуру пылегазового потока, разрежение в газоходу и барометрическое давление. Результаты измерений заносят в журнал по форме, приведенной ниже.

Предприятие _____ Температура газа в газоходe, °C _____

Дата измерений _____ Разрежение (давление) в газоходe, Па _____

Место отбора пробы _____ Барометрическое давление, Па _____

Плотность газа при рабочих условиях, кг/м³ _____

Диаметр газохода	Точки измерений	Показания шкалы микроманометра, мм	Коэффициент пневмометрической трубки	Коэффициент наклона трубки микроманометра	Динамическое давление, Па	Скорость газа, м/с	Точки измерения	Показания шкалы микроманометра, мм	Коэффициент пневмометрической трубки	Коэффициент наклона трубки микроманометра	Динамическое давление, Па	Скорость газа, м/с
I—I	1						В центре газохода					
	2											
	3											
	и т. д.											
II—II	1											
	2											
	3											
	и т. д.											

По результатам измерений рассчитывают средние значения скорости и в случае необходимости определяют коэффициент распределения скоростей.

Порядок расчета скорости газопылевого потока в газоходe

Скорость газопылевого потока (м/с) в произвольно выбранной точке сечения газохода рассчитывается по формуле

$$w_i = \sqrt{2gP_{\text{дин}}/\rho_t}, \quad (1.8)$$

где g — ускорение силы тяжести, равное 9,81 м/с²; $P_{\text{дин}}$ — динамическое давление, Па; ρ_t — плотность газа при рабочих условиях.

Для данной пневмометрической трубки $P_{\text{дин}}$ (Па) определяется по формуле

$$P_{\text{дин}} = h\alpha K (\rho_m/\rho_{\text{сп}}), \quad (1.9)$$

где h — показания шкалы микроманометра, мм; α — угол наклона микроманометра; K — коэффициент пневмометрической трубки; $\rho_{\text{сп}}$ — плотность чистого спирта (0,8095 г/см³); ρ_m — плотность жидкости, залитой в микроманометр, г/см³.

Расход газа (м³/с) через данное сечение газохода определяется по формуле

$$V = w_{\text{ср}} S = w_0 \alpha_{\text{ср}} S, \quad (1.10)$$

где S — площадь сечения газохода, м²; $w_{\text{ср}}$ — усредненная по сечению скорость газа в газоходe, м/с; w_0 — усредненная по времени скорость газа в центре газохода, м/с; $\alpha_{\text{ср}}$ — коэффициент распределения скоростей по сечению газохода.

Величина $\alpha_{\text{ср}}$ исчисляется по формуле

$$\alpha_{\text{ср}} = \frac{\alpha_1 + \alpha_2 + \dots + \alpha_n}{n}, \quad (1.11)$$

где n — число точек измерения по сечению газохода.

Величины $\alpha_1, \alpha_2, \dots, \alpha_n$ рассчитывают как отношение значений скорости в точках измерения к скорости в центре газохода.

Найденное по формуле (1.10) значение расхода газов относится к рабочим условиям. При приведении объема газа V (имеющего температуру t при избыточном давлении P_n) к нормальному объему V_0 (при температуре $t_0=0^\circ\text{C}$ и давлении $P_0=760$ мм рт. ст.*) пользуются следующей формулой:

$$V_0 = V \frac{B \pm P_n}{760} \cdot \frac{273}{(273 + t)} = 0,36V \frac{B \pm P_n}{(273 + t)}, \quad (1.12)$$

где B — барометрическое давление.

Для ускорения расчетов можно пользоваться номограммой рис. 1.27.

Подготовка для измерения запыленности пылегазового потока

Для определения запыленности пылегазового потока, усредненной по сечению газохода, снимают поле запыленности (аналогично полю скоростей) и на основании значений, полученных в выбранных точках газохода, вычисляют среднее значение запыленности потока. В случае необходимости проведения периодических измерений, ускорения работы (например, контрольных измерений эффективности работы пылеуловите-

* 1 мм рт. ст. = 133 Па.

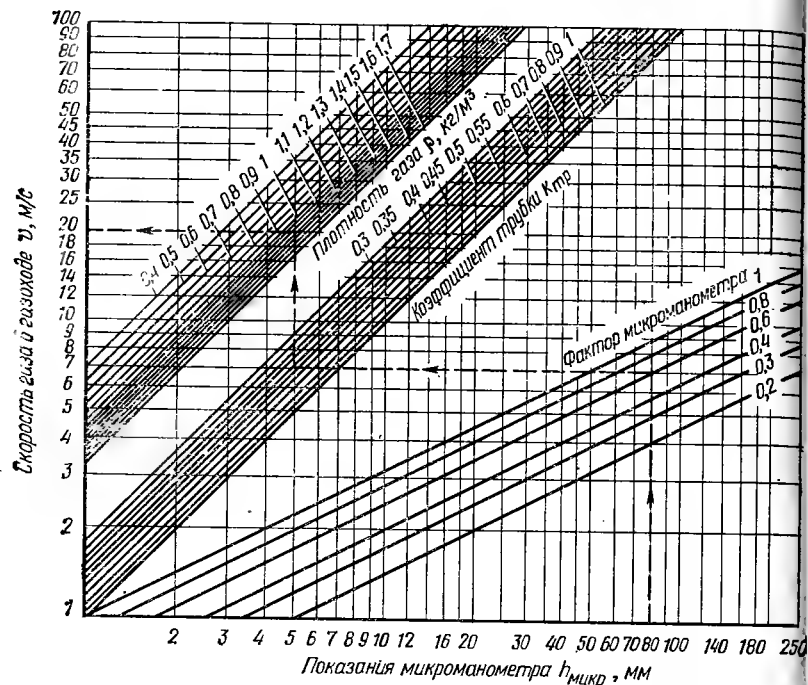


Рис. 1.27. Номограмма для определения скорости газопылевого потока в газоходе при использовании пылемерной трубки с микроанометром (фактор микроанометра $\alpha = \rho_m / \rho_{\text{сп}}$)

лей, проводимых собственными силами предприятий) в одном и том же сечении газохода рекомендуется вначале определить коэффициент пыленности (аналогично коэффициенту пыленности), а затем среднее значение пыленности путем измерений в одной точке газохода.

Применяют два метода определения пыленности газопылевого потока: с помощью внутренней и внешней фильтрации (см. рис. 1.17). При внешней фильтрации фильтрующее устройство располагается вне газохода, при внутренней — внутри него. Метод внутренней фильтрации применяется для отбора проб влажных газов, а также при конденсации из газов капельной влаги, при наличии агрессивных компонентов, смол и т. д., интенсивно осаждающихся на внутренних стенках заборной трубки. Метод внешней фильтрации обеспечивает возможность быстрой смены фильтров при отборе пробы без извлечения заборной трубки из газохода.

Для измерения пыленности используется следующая аппаратура: заборная трубка для внешней или внутренней фильтрации; комплект наконечников для заборной трубки; резиновые шланги, металлические трубки; патрон с обогревом и бумажной гильзой; тканевый фильтр; циклон; фильтродержатель с мембранным фильтром; патрон для внутренней фильтрации со стекловолоком; реометры лабораторные (ГОСТ 9982—61), ротаметры (ГОСТ 14045—67); ртутные термометры; U-образные манометры; воздушодувка или вакуум-насос; эжекторы, аналитические весы АДВ-200 (ГОСТ 15076—69).

После подготовки необходимых приборов и устройств монтируют установку (внешней или внутренней фильтрации) и проверяют ее на герметичность, подбирают сменный наконечник для пылезаборной трубки. Если скорость газа в каждой измерительной точке отличается от усредненной не более чем на 15 % или отбираемая пыль (например, взвешенная) с размером частиц менее 5 мкм, отбор пробы можно производить из одной точки сечения (обычно по оси газохода). Во время отбора пробы скорость газа в канале пылезаборной трубки должна быть 20—30 м/с; скорость более 30 м/с значительно увеличивает гидравлическое сопротивление трубки, а при скорости менее 20 м/с пыль может осесть в канале трубки.

Отбор проб на пыленность производят в тех же точках, где и измеряют скорость. Время отбора пробы в каждой точке вдоль диаметра газохода рекомендуется брать одинаковым. Его рассчитывают, делив общее время отбора одной пробы на число точек измерения вдоль диаметра газохода. Время отбора одной пробы τ рассчитывают, исходя из предполагаемой массы пробы G_n (г), ожидаемой концентрации пыли $z_{\text{ож}}$ (г/м³) и расхода газа V_g (л/мин) через заборную трубку:

$$\tau = \frac{1000 G_n}{V_g z_{\text{ож}}} \quad (1.13)$$

Отбор пробы. При отборе проб методом внешней фильтрации включают электрообогрев трубки и фильтрующего элемента за 10—15 мин до начала отбора. Затем трубку через штуцер вставляют в газоход так, чтобы отверстие наконечника оказалось в нужной точке сечения и было направлено по движению газа. По расходомеру устанавливают рассчитанный для данной точки расход газа. После этого заборную трубку поворачивают отверстием навстречу потоку газа. За правильной установкой наконечника трубки следят по укрепленной на ней пластинке-указателю. В течение всего времени отбора пробы в данной точке поддерживают постоянный расход газа.

Продолжительность отбора пробы зависит от пыленности газа, типа фильтра, расхода газа, мощности тягодутьевого оборудования. Признаком необходимости смены фильтра служит увеличение сопротивления установки на 20 кПа. Если проба отбирается на фильтр без циклончика, то для смены фильтра нужно осторожно вынуть пробку из фильтрующего элемента, оставив фильтр в патроне (если в газоходе разрежение, то из фильтра, оставленного на пробке, часть пыли может унести обратно в газоход). Затем из патрона вынимают фильтр, складывают его так, чтобы пыль не могла высыпаться, после чего его помещают в специально предназначенную коробку. На пробку надевают чистый фильтр, вставляют его вместе с пробкой в патрон и продолжают отбор. На время смены фильтров тягодутьевое устройство не отключают.

При отборе проб с применением пылеотделительного устройства из циклончика и фильтра для замены последнего трубку вынимают из газохода, не отключая тягодутьевого устройства. Если трубку не вынуть из газохода, то пыль из циклончика может быть частично унесена в газоход (если в газоходе разрежение).

При отборе проб методом внутренней фильтрации последовательность операций такая же. Всякий раз для замены фильтра трубку осторожно, чтобы не стряхнуть пыль, извлекают из газохода. Тягодутьевое оборудование отключают, когда трубка уже вынута. Гильзы с пылью помещают в вертикальном положении открытым концом вверх в коробку, разделенную на ячейки. По окончании отбора проб заборную трубку и поверхность пробки фильтрующего элемента следует прочистить. Собранную пыль высыпают в пакет из кальки и помещают в ту же коробку

для проб. Надо стремиться к максимально полному извлечению пыли из пылеотделительных устройств, не допуская при этом пыления. Для предупреждения увлажнения пыли коробку по разъему крышки обматывают липкой лентой и транспортируют в лабораторию.

Если отбор проб совмещается с определением запыленности газового потока, то перед извлечением пыли фильтры взвешивают. Из фильтров пыль удобнее всего высыпать в высокий стакан или литровую банку. Банку закрывают крышкой, в которой сделана прорезь размером

60×10 мм. В эту прорезь вставляют фильтр открытым концом вниз и, придерживая фильтр за нижнюю часть, постукивают по нему. После осаждения пыли в банке фильтр вынимают: если он бумажный, разрезают по образующей, если тканевый, выворачивают; кисточкой осторожно сметают оставшуюся на стенках фильтра пыль в банку. В одну банку высыпая все пробы, отобранные в различных точках сечения газотока. Для извлечения мелких фракций из пор фильтра последний следует прополоскать в жидкости, употребляемой в качестве дисперсионной среды при анализе состава пыли [3]. Полученную суспензию выпаривают в сушильном шкафу, осадок разрыхляют и смешивают с пробой. Туда же высыпая и пыль, извлеченную из заборной трубки.

Циклончик отсоединяют от заборной трубки и фильтра, кладут горизонтально и ослабляют пробку в бункере, но так, чтобы отверстие осталось закрытым пробкой. Затем надевают на конусную часть бункера литровую банку, поворачивают циклончик с банкой вертикально и постукивают по циклончику деревянной палочкой. Пробка падает в банку, и туда же высыпается пыль из бункера. Циклончик тщательно обстучивают и через отверстие в бункере обметают тонкой кисточкой. Пробку вынимают из пыли пинцетом, обметают кисточкой. Пыль, извлеченную из циклончика и стоящего после него фильтра, смешивают. Туда же высыпая пыль, извлеченную из заборной трубки. Банку с пылью закрывают полиэтиленовой крышкой.

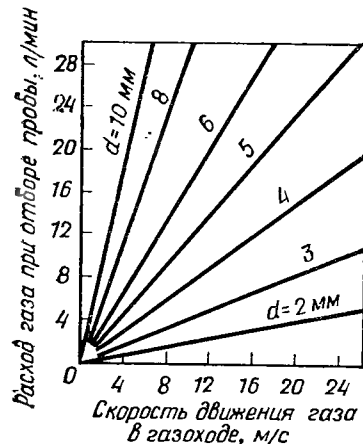


Рис. 1.28. Номограмма для подбора диаметра наконечника пылезаборной трубки

Порядок проведения расчета по определению необходимого расхода газопылевого потока, отбираемого из газотока

Расчет диаметра наконечника d (мм) пылезаборной трубки производят, исходя из условия изокINETичности отбора пробы, согласно которому скорость газопылевого потока во входном сечении наконечника равна скорости потока в точке отбора w_r . Следовательно:

$$d^2 = 4V_r / \pi w_r, \quad (1.14)$$

где V_r — расход газа через заборную трубку при рабочих условиях, м³/с.

При рабочем расходе 20 л/мин формула примет следующий вид:

$$d = 20 / \sqrt{w_r}. \quad (1.15)$$

Вместо расчетов по формуле (1.15) можно пользоваться номограммой (рис. 1.28).

Определение расхода газа по реометру

Для правильного отбора пробы газа с соблюдением принципа изокINETичности необходимо предварительно рассчитать расход газа $V_{ш}$ (л/мин), показываемый по шкале реометра. Для этого пользуются следующим выражением:

$$V_{ш} = V_r \frac{(273 + t_p)(B \pm P_r)}{(273 + t_r)(B - P_p)} \sqrt{\frac{\rho_p}{\rho_k}} = 4,71 \cdot 10^{-2} d^2 w_r \frac{(273 + t_p)}{(273 + t_r)} \cdot \frac{(B \pm P_r)}{(B - P_p)} \sqrt{\frac{\rho_p}{\rho_k}}, \quad (1.16)$$

где V_r — расход газа при отборе пробы в рабочих условиях, л/мин; ρ_p , ρ_k , t_p — соответственно плотность, разрежение и температура газа, протекающего через реометр; ρ_k — плотность газа в условиях калибровки реометра.

Плотность ρ_p определяют по формуле

$$\rho_p = 0,36 \rho_0 \frac{B - P_p}{273 + t_p}, \quad (1.17)$$

где ρ_0 — плотность газа при нормальных условиях.

После подстановки (1.17) в выражение (1.16) получим

$$V_{ш} = 0,0282 d^2 w_r \frac{(B \pm P_r)}{(273 + t_r)} \sqrt{\frac{\rho_0 (273 + t)}{\rho_k (B - P_p)}}. \quad (1.18)$$

Порядок расчета запыленности газопылевого потока

Запыленность z , г/м³, измеренная в одной точке сечения газотока, рассчитывают по формуле

$$z = \frac{(q + a + b) 1000}{V_0 \tau}, \quad (1.19)$$

где q — привес пыли в фильтрующем устройстве, г; a — поправка на количество пыли, оседающей в заборной трубке, г; b — поправка на изменение массы контрольных гильз, г (в случае использования бумажных фильтровальных патронов); τ — время отбора пробы, мин; V_0 — расход газа при отборе пробы, приведенный к нормальным условиям, л/мин.

Для определения средней запыленности $z_{ср}$ по всему сечению газотока, когда запыленность измеряется в отдельных точках сечения газотока, разбитого на равновеликие по площади участки, используется следующая формула:

$$z_{ср} = \frac{\sum_{i=1}^n z_i w_i}{\sum_{i=1}^n w_i}, \quad (1.20)$$

где z_i и w_i — соответственно запыленность и скорость газа в отдельных точках измерения по сечению газотока.

При периодических замерах запыленности ее среднее значение по сечению газохода исчисляется как

$$z_{\text{ср}} = \alpha_{\text{ср}} z_i^0, \quad (1.21)$$

где $\alpha_{\text{ср}}$ — средний коэффициент поля запыленности; z_i^0 — запыленность, измеренная в одной точке сечения газохода (обычно в центре его или в точке, в которой коэффициент поля запыленности близок к 1).

Величину $\alpha_{\text{ср}}$ рассчитывают аналогично коэффициенту распределения скоростей по сечению газохода [см. формулу (1.11)]. Результаты измерений заносят в журнал по форме, приведенной ниже.

Универсальное пробоотборное устройство ПОУ-1 конструкции Семибратовского филиала НИИОгаза

Устройство предназначено для проведения пылегазовых измерений на промышленных газоходах методом внешней и внутренней фильтрации; определения динамических и статических напоров пылегазовых потоков,

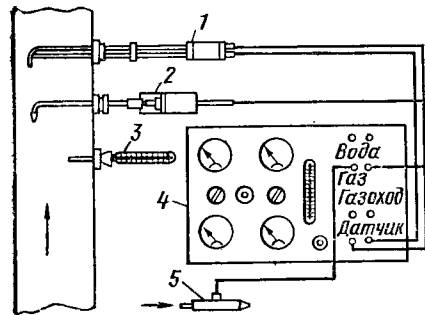


Рис. 1.29. Установка пробоотборного устройства в газоходе:

1 — датчик статических и динамических напоров (пневмометрическая трубка); 2 — пылезаборная трубка; 3 — термометр; 4 — измерительный блок; 5 — эжектор

температуры газов и их влажности конденсационным методом. Конструкция устройства и характеристики его функциональных узлов позволяют проводить измерения эффективности работы пылеулавливающих и газоочистных аппаратов и систем в черной и цветной металлургии, теплоэнергетике, промышленности строительных материалов и других отраслях промышленности. Устройство состоит из следующих основных узлов: пылезаборной трубки, датчика динамических и статических напоров, измерительного блока, эжектора и термометра. Схема установки пробоотборного устройства в газоходе приведена на рис. 1.29.

Универсальное пробоотборное устройство имеет следующие технические характеристики:

Установленная мощность, Вт	150
Напряжение питания, В	12
Рабочая температура пылегазового потока, °С	425
Концентрация пыли в потоке, г/м³	100
Размер частиц пыли (не менее), мкм	0,5
Скорость пылегазового потока в газоходе, м/с	4—30
Количество отбираемой пробы, м³/ч	0,3—6,0
Длина пылезаборной трубки, мм	2800
Длина пневмометрической трубки, мм	2000
Масса пробоотборного устройства в рабочем положении, кг	18

Устройство изготавливается из нержавеющей стали, в связи с чем его можно использовать для измерений в среде агрессивных газов и относительно высоких температур. Использование в измерительном блоке серийно выпускаемых стрелочных приборов позволило исключить жидкостные манометры, содержащие воду, спирт и ртуть.

ФОРМА ЖУРНАЛА ДЛЯ ЗАПИСИ РЕЗУЛЬТАТОВ ИЗМЕРЕНИЯ ЗАПЫЛЕННОСТИ

Диаметр газохода	Точки измерений	Время отбора		Показания манометра диафрагмы, мм	Температура газа перед диафрагмой, °С	Разрежение перед диафрагмой, Па	Расход газа при отборе, л/мин	Привес фильтра, г	Концентрация пыли, г/м³	Примечание
		начало	конец							
I—I	1									
	2									
	3									
	и т. д.									
II—II	1									
	2									
	3									
	и т. д.									

Предприятие

Дата измерений

Место отбора пробы

Температура газа в газоходе, °С

Разрежение (давление) в газоходе, Па

Барометрическое давление, Па

Плотность газа при рабочих условиях, кг/м³

Использование унифицированной пылезаборной трубки, секционированной на взаимозаменяемые звенья, позволяет проводить отбор проб пыли методом внешней и внутренней фильтрации в газоходах диаметром от 0,3 до 2,0 м; полученные пробы пыли можно использовать для определения фракционного и химического состава пыли. Одновременно с отбором пробы можно определять влагосодержание пылегазового потока конденсационным методом.

Универсальное пробоотборное устройство легко и быстро монтируется на рабочем месте, занимает мало места при транспортировке.

Универсальная пылезаборная трубка (рис. 1.30) состоит из трубки 1, состоящей из двух, трех или четырех звеньев.

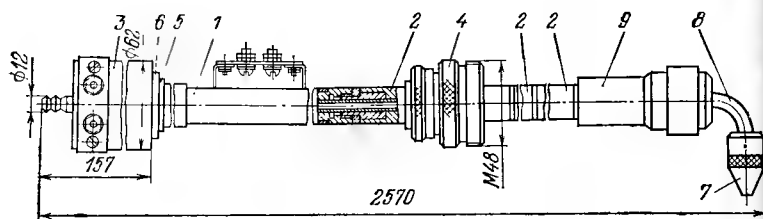


Рис. 1.30. Пылезаборная трубка:

1, 2 — звенья трубки; 3 — патрон фильтровальный; 4 — держатель цанговый; 5 — проба; 6 — фильтр; 7 — иконечник; 8 — угольник; 9 — патрон

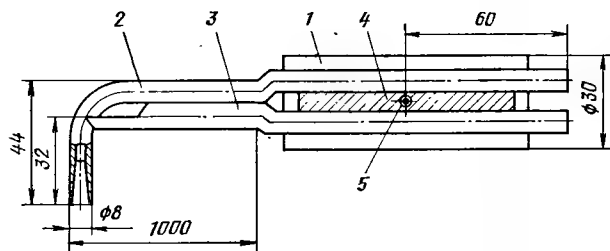


Рис. 1.31. Пневмометрическая трубка:

1 — рукоятка; 2 — трубка для измерения динамического напора; 3 — трубка для измерения статического напора; 4 — пластинка; 5 — фиксатор

При отборе пробы методом внутренней фильтрации на пылезаборную трубку навертывается патрубок 9, в него вставляется металлическая гильза, набитая фильтровальным материалом, а на патрубок навинчивается угольник 8 с наконечником 7. Уплотнение резьбовых соединений выполняется медными шайбами. Каждое звено состоит из внутренней трубки диам. 8 и кожуха диам. 22 мм. В одно звено вмонтирован нагревательный элемент мощностью 70 Вт; напряжение питания 12 В. Для выбора наконечника нужного диаметра имеется комплект из 10 наконечников.

Датчик динамических и статических напоров (пневмометрическая трубка) (рис. 1.31) состоит из двух спаянных вместе трубок диам. 8 мм; одна трубка изогнута навстречу пылегазовому потоку и измеряет

динамический напор, а вторая имеет прорезь и воспринимает статический напор.

Трубки жестко закреплены в рукоятке 1 и являются направляющими для пластины 4 и фиксатора 5.

Измерительный блок, принципиальная схема которого приведена на рис. 1.32, предназначен для измерения статических и динамических напоров, сопротивления тракта отбора пробы, для определения влагосодержания газопылевого потока. Пылегазовый поток проходит через холодильник Х, сборник конденсата К, диафрагму Д_р с регулировочным винтом; за счет охлаждения газа сконденсированная влага стекает в сборник. Температура газа измеряется термометром Т. Расход отбираемого газа регулируется по перепаду давления на диафрагмах с пределами измерений 0,1—0,8 и 0,5—6,0 м³/ч; графики градуировки диафрагм нанесены на крышке измерительного блока.

Общий вид измерительного блока показан на рис. 1.33. На лицевую панель блока выведены стрелочные приборы дифманометров ДМ3 и ДМУ. Верхний предел измерения этих приборов составляет: для ДМУ — до 20 м/с (верхний предел шкалы до 400 Па); для ДМ3 — до 40 м/с (верхний предел шкалы до 1000 Па). Дифманометр ДМ2 установлен в линии отбора пробы, а ДМ1 для контроля расхода газа по перепаду давления на диафрагме.

Позиционная карта переключения вентилях производится по приведенной ниже схеме:

	Прибор по схеме (рис. 1.32)	Позиционное положение вентилей
Статический и динамический напоры, Па:		
до 400	ДМ4, ВУ3	2
до 1000	ДМ4, ВУ3	1
Давление (разрежение) в газоходе, Па	ДМ2, ВУ2	2
Сопротивление тракта отбора пробы, Па	ДМ2, ВУ2	1
Перепад давления на диафрагме, Па	ДМ1	—

На лицевую панель измерительного блока (см. рис. 1.33) выведены штуцера для входа и выхода охлаждающей воды холодильника, входа и выхода отбираемого для пробы газа, штуцера датчиков статического и динамического напоров и трубки для измерения давления (разрежения) в газоходе. В корпусе блока установлены холодильник Х с краном Кр для слива сконденсированной воды.

Эжектор устройства ПОУ-1 (рис. 1.34) резьбовой частью вворачивается в трубу, по которой подается воздух под давлением до 4·10⁵ Па. Регулирование расхода производится вращением сопла при помощи винта со шлицем. Эжектор снабжен переходником для подключения к линии сжатого воздуха с помощью резинового шланга.

Зависимости характеристик устройства ПОУ-1 приведены на рис. 1.35, 1.36.

Методика проведения пылегазовых измерений с применением устройства ПОУ-1 идентична методикам, изложенным в [3]. Поэтому ниже рассмотрены лишь отличительные особенности измерения при помощи устройства ПОУ-1.

Перед началом измерений собранную установку проверяют на герметичность по схеме рис. 1.37, после чего собирают установку (см. рис. 1.29). При этом если отбор пробы проводится методом внешней филь-

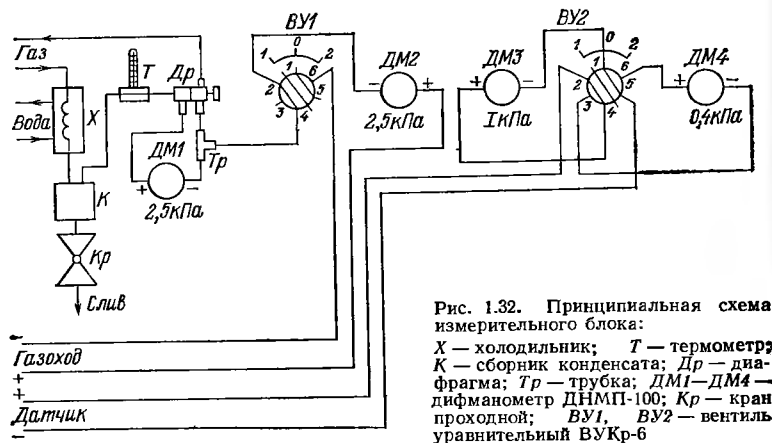


Рис. 1.32. Принципиальная схема измерительного блока:
 Х — холодильник; Т — термометр;
 К — сборник конденсата; Др — диафрагма; Тр — трубка; ДМ1—ДМ4 — дифманометр ДНМП-100; Кр — кран проходной; ВУ1, ВУ2 — вентиль уравнивающий ВУКр-6

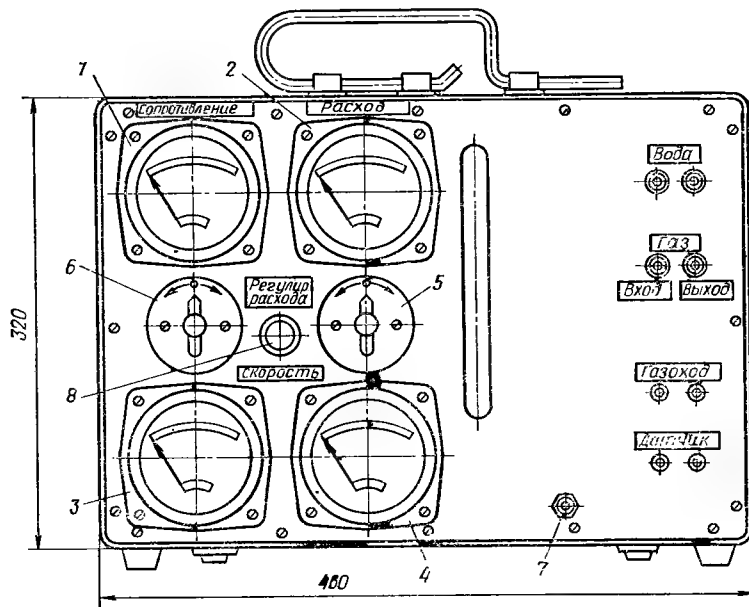


Рис. 1.33. Общий вид измерительного блока:

1, 2 — дифманометры на 2,5 кПа; 3 — дифманометр на 1 кПа; 4 — дифманометр на 0,4 кПа; 5, 6 — вентили уравнивающие; 7 — кран проходной; 8 — диафрагма

рации, то последним в пылезаборной трубке монтируется звено с обогревом, к которому присоединяется фильтровальный патрон (см. рис. 1.30).

После установки пылезаборной трубки в газоход подключают обогрев патрона и трубки, для чего используется провод сечением 1,5—

2,5 мм². После прогрева в течение 20 мин при помощи резиновых шлангов diam. 10 мм выполняются все соединения согласно схеме (см. рис. 1.29). Время отбора пробы определяют опытным путем, однако максимальное сопротивление тракта не должно превышать 20 кПа. При отборе проб методом внутренней фильтрации на первое звено пылезаборной трубки навинчивается патрубок с металлической гильзой, набитой

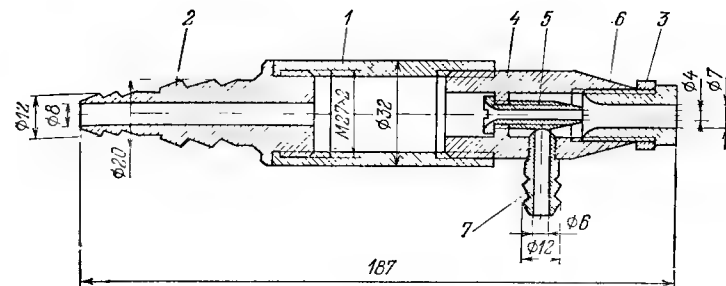


Рис. 1.34. Эжектор устройства ПОУ-1:

1 — трубка; 2, 7 — ниппели; 3 — контргайка; 4 — наконечник эжектора; 5 — сопло; 6 — диффузор

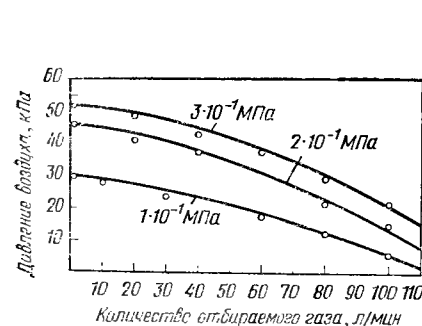


Рис. 1.35. Зависимость сопротивления тракта от расхода газа при различном давлении в системе

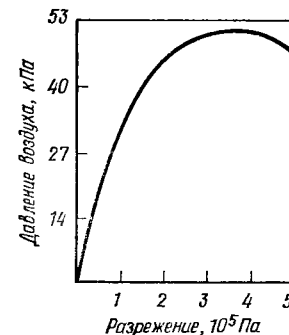


Рис. 1.36. Зависимость разрежения, создаваемого эжектором, от давления в системе

фильтровальным материалом; на патрубок навинчивается угольник с наконечником. При работе по этой схеме обогрев звена трубки не требуется.

Эксплуатация устройства ПОУ-1 проста и заключается в корректировке дифманометров специальным ключом (прилагается в ЗИПе); периодической чистке (не реже одного раза в год) газовых каналов измерительного блока с последующей проверкой герметичности системы по схеме (см. рис. 1.37).

Для измерения скорости взрывоопасных и токсичных газов разработано устройство, приведенное на рис. 1.38 [4].

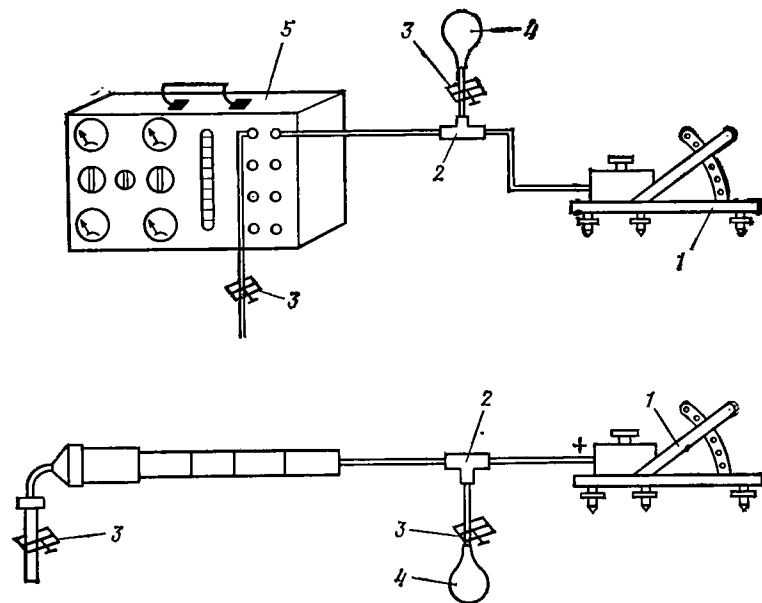


Рис. 1.37. Схема проверки герметичности устройства ПОУ-1:

а — измерительного блока; б — резьбовых соединений; 1 — микроманометр; 2 — Т-образная трубка; 3 — зажим лабораторный; 4 — груша резиновая; 5 — измерительный блок

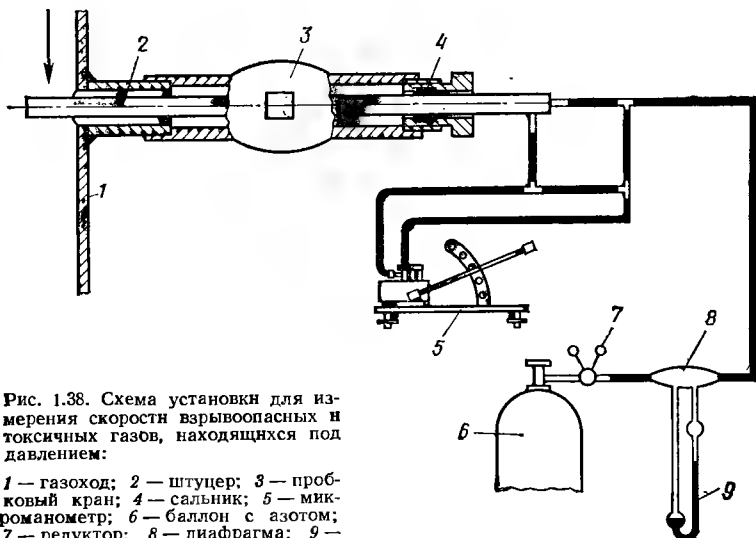


Рис. 1.38. Схема установки для измерения скорости взрывоопасных и токсичных газов, находящихся под давлением:

1 — газоход; 2 — штуцер; 3 — пробковый кран; 4 — сальник; 5 — микроманометр; 6 — баллон с азотом; 7 — редуктор; 8 — диафрагма; 9 — дифманометр

Устройство испытано при измерении скорости печного газа рудно-термических фосфорных печей.

Измерение скорости пылегазового потока проводят в следующем порядке:

- 1) ослабив накидную гайку сальника 4, в газоход вводят напорную трубку 2 при закрытом кране 3 до упора ее в пробку крана;
- 2) подтягивают сальник, открывают кран 3 и вводят напорную трубку в центр газохода;
- 3) при отключенном от напорной трубки микроманометре 5 (переключатель находится в нулевом положении) устанавливают расход азота через систему (4—6 л/мин);
- 4) прекращают подачу азота, переводят переключатель микроманометра в рабочее положение и приступают к измерению;
- 5) в процессе работы пневмометрическую трубку через каждые 5—10 мин продувают азотом; при этом переключатель переводится в нулевое положение;
- 6) после окончания измерений трубку извлекают из крана до первоначального положения, закрывают пробкой кран, ослабляют сальник и извлекают пневмометрическую трубку.

Периодичность отбора проб определяется применяемой измерительной аппаратурой. Ясно, что наиболее представительные пробы пылегазового потока можно получить в результате многочисленных измерений. Однако такой контроль возможен при наличии автоматических пылемеров. Поэтому задача состоит в получении достоверных результатов при минимальном числе опытов, проводимых ручным способом. При этом определяющими факторами являются: показатель представительности, продолжительность отбора пробы, периодичность отбора проб, число отобранных проб, точность определения.

Показатель представительности пробы характеризует достоверность метода отбора и составляет обычно для пылегазового потока $3 \cdot 10^{-3}$ — $2 \cdot 10^{-4}$. Продолжительность отбора пробы связана с чувствительностью метода и требуемой точностью. При определении запыленности газа взвешиванием фильтров относительная ошибка M (%) рассчитывается по формуле

$$M = \pm \frac{100}{q} \sqrt{m_q^2 + q \left(\frac{m_v^2}{v_{отб}^2} + \frac{m_\tau^2}{\tau^2} \right)},$$

где q — навеска пыли на фильтре, мг; m_q — абсолютная ошибка при определении навески, мг; $v_{отб}$ — скорость газа в пробоотборнике, л/мин; m_v — абсолютная ошибка при измерении скорости газового потока, л/мин; τ — время отбора пробы, мин; m_τ — абсолютная ошибка при определении времени, мин.

Выражение в круглых скобках под знаком радикала определяет относительную ошибку отбора пробы газа с объемной скоростью $v_{отб}$ в течение времени τ ; обозначим эту ошибку m_q . Допустимыми ошибками при определении запыленности газов для исследовательских и эксплуатационных целей считаются соответственно 10 и 20 %.

Средняя ошибка взвешивания фильтра на аналитических весах АДВ-200, определенная из большого числа двойных взвешиваний, равна 0,094 мг. Но навеска пыли определяется по разности результатов двух взвешиваний фильтра (до и после опыта), поэтому ошибка определения навески пыли составит

$$m_q = \pm K \sqrt{2} = \pm 0,094 \sqrt{2} = \pm 0,13 \text{ мг},$$

где K — средняя ошибка взвешивания фильтра, мг.

Относительная ошибка отбора пробы m_Q при использовании реометров составляет при расходе воздуха 20 л/мин $\pm 0,125$, а при 50 л/мин $\pm 0,05$.

Минимальная навеска при отборе пробы рассчитывается по формуле

$$q = \frac{100m_Q}{\sqrt{M^2 - 100^2 m_Q^2}}.$$

При $M = 15\%$, $m_Q = \pm 0,2$ мг и $m_Q = \pm 0,1$ навеска пыли на фильтре должна быть не менее 2,5 мг.

По опытным данным, отбор проб следует производить не реже двух раз в месяц. При этом ошибка определения среднего значения взятых проб не превышает 14 %, что допустимо для эксплуатационного контроля.

Число отбираемых проб при определении запыленности можно установить, используя метод малой выборки: $n = W^2 t^2 / p^2$, где W — коэффициент вариации, %; p — допустимая ошибка, %; t — нормированное отклонение отдельных измерений.

Коэффициент вариации или суммарное рассеивание включает ошибку рассеивания измерительного прибора W_n и вариационное рассеивание W_0 измеряемой концентрации пыли:

$$W = \pm \sqrt{W_0^2 + W_n^2}.$$

При замерах пыли рассеивание измеряемой величины зависит в первую очередь от вариационного рассеивания W_0 , так как W_0 велико по сравнению с W_n ; следовательно, нет необходимости добиваться высокой надежности отдельных измерений. Коэффициент вариации определяется по формуле: $W = 100\sigma/\bar{c}$, где σ — среднеквадратическое отклонение отдельных измерений; $\bar{c}$ — среднее арифметическое произведенных замеров. Значение σ рассчитывается как

$$\sigma = \pm \sqrt{\sum_{i=1}^n (\bar{c} - c)^2 / (n - 1)},$$

где $\sum_{i=1}^n (\bar{c} - c)^2$ — сумма квадратов отклонений отдельных измерений от среднего арифметического; n — число измерений.

Коэффициент вариации изменяется в широких пределах в зависимости от концентрации газа, дисперсности частиц, вида пылеулавливающего аппарата и т. д. Коэффициент вариации и точность определения среднего арифметического значения связаны с нормированным отклонением t , определяющим пределы, в которых можно с достаточной уверенностью считать достоверным полученное значение среднего арифметического.

Так, при $t = 1$ гарантия точности составляет 68,3 %, т. е. для 68,3 % замеров ошибка p не превысит принятого ее значения. При $t = 2,7$ гарантия точности 90 %. Учитывая приведенные выше соображения, можно определить минимальное число замеров при установлении концентрации пыли по массе в газопылевом потоке.

Таким образом, для высокодисперсных пылей, например, при коэф-

фициенте вариации 50 % гарантия точности 90%; при допустимой ошибке в 10 % необходимо провести 68 замеров, а при ошибке в 25 % достаточно 11 замеров (табл. 1.4).

1.4. АВТОМАТИЧЕСКИЕ И ПОЛУАВТОМАТИЧЕСКИЕ ПЫЛЕМЕРЫ

Оптические абсорбционные пылемеры. Сигнализатор запыленности воздуха (рис. 1.39) в газоходах аспирационных систем предназначен для контроля за работой фильтров и выявления аварийных ситуаций. При остановке или нарушении режима работы пылеуловителей включаются системы аварийной сигнализации и блокировки, подключаемые через релейный выход.

Сигнализатор нечувствителен к запылению оптических деталей (смотровых стекол). Работает он следующим образом. В схему введен блок 2 для автоматического поддержания освещенности фотоприемника 3 на одном уровне. Он представляет собой интегрирующий усилитель, с большой постоянной времени, на входе которого включен фотоприемник, а на выходе источник света 1. При уменьшении выходного сигнала фотоприемника из-за запыления стекол увеличивается выходной сигнал интегрирующего усилителя. Это обуславливает увеличение напряжения питания источника света до тех пор, пока выходной сигнал фотоприемника не станет равным прежнему значению, соответствующему его оптимальной освещенности. Таким образом, обеспечивается нечувствительность к медленному изменению освещенности в результате запыления смотровых стекол.

При аварийной ситуации (отключении напряжения электрофильтра, разрыве фильтрующей ткани рукавного фильтра) скачкообразно изменяется освещенность фотоприемника. Выходной сигнал его через согласующий каскад 4 подается на дифференциальный усилитель 5, который обеспечивает надежный запуск выходного релейного блока 7, включающего систему аварийной сигнализации и блокировки. Питание прибора осуществляется от общего блока питания 6. Однако возможны и ложные срабатывания сигнализатора при случайном кратковременном затенении фотоприемника. Это является недостатком прибора.

Сигнализатор внедрен на Шебекинском химкомбинате и может быть применен в различных областях промышленности.

Для контроля выбросов катализаторной пыли в атмосферу в про-

ТАБЛИЦА 1.4
ОПРЕДЕЛЕНИЕ ЧИСЛА ОТБОРА
ПЫЛЕВЫХ ПРОБ

Коэффициент вариации, %	Гарантия точности, %	Допустимая ошибка, %	Необходимое число замеров
-------------------------	----------------------	----------------------	---------------------------

Грубодисперсная пыль

25	68,3	10	7
25	68,3	25	1
25	90,0	10	17
25	90,0	25	3
30	68,3	10	9
30	68,3	25	2
30	90,0	10	24
30	90,0	25	4

Высокodисперсная пыль

50	68,3	10	25
50	68,3	25	4
50	90,0	10	68
50	90,0	25	11
60	68,3	10	36
60	68,3	25	6
60	90,0	10	97
60	90,0	25	16

цессе крекинга нефти создан фотометрический концентратор пыли [в катализаторной пыли 97,7 % (по массе) составляют частицы размером менее 2,5 мкм и 2,3 % частицы размером от 2,5 до 4 мкм]. В приборе используется однолучевая оптическая схема. Оптические элементы схемы обдуваются очищенным сжатым воздухом. Для исключения влияния изменения температуры окружающей среды на результаты измерения фотоприемник термостабилизирован: на источник света подается стабилизированное напряжение; влияние старения источника света и

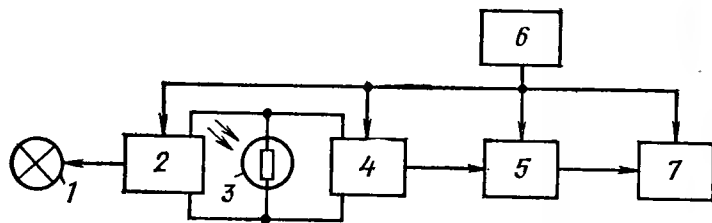


Рис. 1.39. Блок-схема сигнализатора концентрации пыли

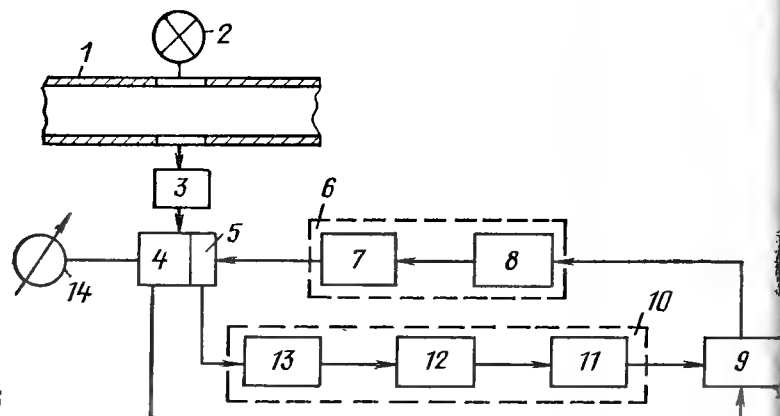


Рис. 1.40. Блок-схема пылемера для контроля выбросов сажи

фотоприемника устраняется корректирующим устройством. Прибор градуируют в единицах оптической плотности по контрольным аттестованным стеклам марки НС. Градуировку в единицах концентрации пыли осуществляют непосредственно в месте установки прибора. Пределы измерения катализаторной пыли составляют 0—4 г/м³. Основная приведенная погрешность измерения прибора ±8 %. Прибор внедрен на Новобакинском нефтеперерабатывающем заводе на установке каталитического крекинга [8—11].

В приборе контроля выбросов сажи газомазутными котлоагрегатами электростанций (рис. 1.40) используется метод, основанный на измерении величины пульсации оптической плотности дымовых газов. Пульсация возникает в результате турбулентных флуктуаций при движении

в газоходе пылегазовых потоков. В ходе экспериментальных исследований установлено, что с увеличением среднего уровня оптической плотности пульсация возрастает. Использование этого метода позволяет исключить влияние старения источника света и фотоприемника, изменения температуры и влажности окружающей и контролируемой среды, загрязнения оптических деталей и др.

Прибор контроля выбросов сажи (см. рис. 1.40) состоит из источника света 2 и фотоприемника 3, которые укреплены в газоходе 1 таким образом, чтобы соблюдалось условие соосности. Выходной сигнал фото-

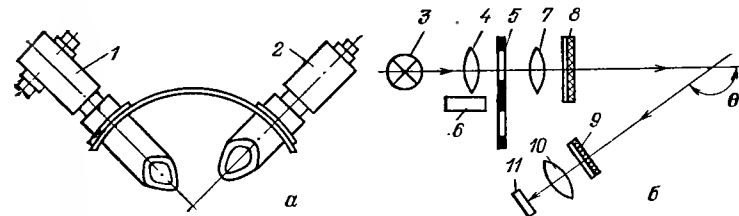


Рис. 1.41. Схема пылемера типа ИВА-1

приемника подается на измерительный блок 4, а затем на измеритель 14. Кроме того, выход измерительного блока связан через замыкающиеся контакты реле 6 со стабилизатором нуля 6 и функциональным блоком 10. Стабилизатор нуля состоит из усилителя 8 и электропривода 7, который воздействует на корректор нуля 5 измерительного блока 4. Функциональный блок управляет работой реле 9 и состоит из полосового фильтра 13, усилителя 12 и детектора 11.

Прибор работает следующим образом. Медленные изменения выходного сигнала измерительного блока, вызванные, например, старением источника света или фотоприемника, загрязненностью оптических деталей и др., непрерывно автоматически компенсируются стабилизатором нуля 6, который воздействует на корректор нуля 5 таким образом, чтобы выходной сигнал измерителя 14 был равен нулю. Если же выходной сигнал измерительного блока содержит переменную составляющую, обусловленную турбулентными флуктуациями оптической плотности пылегазового потока в газоходе, а амплитуда переменной составляющей превышает определенную величину, то срабатывает реле 9. Последнее отключает стабилизатор нуля 6. При этом показания измерителя 14 соответствуют оптической плотности измеряемого пылегазового потока.

Промышленные испытания прибора показали, что в течение 7000 ч дрейф нуля не превышает 5 %, в то время как приборы, основанные на измерении постоянной составляющей оптической плотности, имеют дрейф нуля на порядок выше.

Оптические пылемеры светорассеяния. Прибор ИВА-1 предназначен для непрерывного автоматического контроля пылевых выбросов предприятий химической промышленности и прежде всего для предприятий, изготовляющих порошковые синтетические моющие вещества. Прибор обеспечивает непрерывное измерение концентрации пыли в отходящих газах, выбрасываемых в атмосферу, в диапазоне от 10 до 300 мг/м³ при скорости пылегазового потока до 12 м/с, температуре отходящих газов до 70 °С. Прибор рассчитан для установки непосредственно в газодоходах diam. до 1500 мм, в которых возможен изменяющийся световой фон. Прибор состоит из осветителя, фотоприемника, измерительного блока, блока питания и регистратора. Первичный измерительный преобразова-

тель, включающий блоки осветителя 1 и фотоприемника 2, крепится в газоходе (рис. 1.41, а). Остальные блоки устанавливаются на общем пульте управления на расстоянии до 20 м от первичного измерительного преобразователя [1].

В приборе используется однолучевая оптическая схема (рис. 1.41, б) с модуляцией светового потока. Использование этой схемы позволяет исключить влияние светового фона. Свет от источника 3 фокусируется линзой 4 в плоскость расположения модулятора 5, приводимого

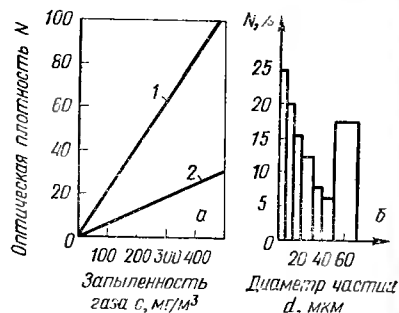
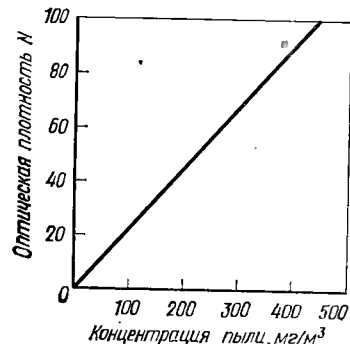


Рис. 1.42. Зависимость показаний пылемера от концентрации пыли

Рис. 1.43. Параметрические соотношения пылемера типа ИВА-2:

а — градуировочная характеристика для цементной пыли; б — гистограмма частиц цементной пыли, используемой для градуировки; 1 и 2 — режимы работы печи

во вращение электродвигателем 6. Модулированный частотой 483 Гц свет линзой 7 формируется в параллельный световой поток, равномерно освещающий измеряемый пылегазовый поток. Часть света, рассеянного частицами пыли, с помощью линзы 10 собирается на светочувствительной поверхности фотоприемника 11. Угол рассеяния выбирается, исходя из индикатора рассеяния измеряемой пыли. Для пылевых выбросов предприятий химической промышленности максимальная чувствительность может быть получена при $\Theta=50^\circ$, когда измеряется рассеянный вперед свет. Однако угол $\Theta=50^\circ$ рекомендуется использовать при измерении концентрации пыли в газоходах диаметром не более 400 мм. В газоходах больших диаметров целесообразнее использовать угол $\Theta=135^\circ$.

На смотровые стекла 8, 9 нанесены гидрофобные покрытия, которые предохраняют от конденсации капель воды или от сплошного увлажнения поверхности. Гидрофобизация заключается в обработке стекол кремнийорганическими защитными покрытиями, которые отличаются значительной эксплуатационной стойкостью (свойства покрытий сохраняются в течение 5—10 лет). Для защиты стекол 8, 9 от запыления используются пылезащитные насадки с конусными пылеулавливающими перегородками.

В приборе ИВА-1 применены лампа накаливания КИМ-6,6—65 (световой поток 1079 лм) и фоторезистор ФПФ-7В, температурный коэффициент которого равен $0,6\%/^\circ\text{C}$.

Прибор ИВА-1 прошел промышленные испытания на двух предприятиях: Днепропетровском заводе химических изделий (ДЗХИ) и Гомельском химическом заводе (ГХЗ). Испытания на ДЗХИ проводи-

лись при установке первичного измерительного преобразователя ИВА-1 на вертикальном участке газохода цеха порошковых СМС. Угол между оптическими осями осветителя и фоторезистора составлял 45° . Зона измерения находилась на оси газохода. Одновременно с измерением концентрации пыли прибором ИВА-1 проводились измерения концентрации весовым методом.

Испытания на ГХЗ проводились в цехе фтористого алюминия в отделении расфасовки готовой продукции. Первичный измерительный преобразователь был установлен на вертикальном участке газохода после рукавного фильтра ФВ-30М перед вентилятором.

Результаты проведенных испытаний (рис. 1.42) показывают, что чувствительности ИВА-1 для обоих видов пыли одинаковы. Хорошая сопоставимость результатов объясняется тем, что, во-первых, оба вида пыли относятся к грубодисперсным системам, во-вторых, частицы имеют выпуклую форму и, в-третьих, они характеризуются одинаковыми рассеивающими свойствами, так как являются «белыми» частицами с диффузным рассеянием света.

Измеритель пылевых выбросов ИВА-2 характеризуется простотой, повышенной надежностью и удобством при промышленной эксплуатации. Он предназначен для измерения концентрации пыли в выхлопных газоходах, в которых световой фон либо отсутствует, либо сохраняется постоянным. Это газоходы, в которые дневной свет непосредственно не проникает. На практике концентрация пыли в них измеряется гораздо чаще, чем в газоходах, в которые проникает дневной свет. Отсутствие дневного света в места измерения позволяет упростить оптическую схему пылемера, что делает его более простым в наладке и эксплуатации, уменьшает влияние вибрации газохода, которая всегда имеет место, а также облегчает настройку прибора после замены в нем деталей, вышедших из строя во время его эксплуатации. В комплект ИВА-2 входят: первичный измерительный преобразователь, измерительный блок, блок питания и регистрирующее устройство, которое непрерывно регистрирует на диаграммной ленте значения мгновенной концентрации пыли.

Техническая характеристика пылемера ИВА-2:

Диапазон измерения концентрации пыли, мг/м³	10—500
Быстродействие, с	Не менее 0,1
Температура измеряемой среды, $^\circ\text{C}$	15—35
Относительная влажность измеряемой среды, %	До 80
Напряжение питания, В	220 ± 10
Потребляемая мощность, ВА	Не более 100

Прибор отградуирован (рис. 1.43, а) на цементную и угольную пыль, гистограмма частиц которой приведена на рис. 1.43, б. Из сопоставления градуировочных кривых для цементной и угольной пылей следует, что концентрационная чувствительность прибора ИВА-2 для цементной пыли в три раза больше концентрационной чувствительности для угольной пыли.

Прибор ИВА-2 испытан на цементной, древесной и кварцсодержащей пыли на Киевском комбинате «Стройиндустрия», где и внедрен в промышленную эксплуатацию. Испытания проводились в цехах центрофугированных труб (ЦФТ), мягкой кровли (ЦМК) и ремонтно-строительном (РСЦ). В ЦФТ первичный измерительный преобразователь прибора устанавливался в надбункерном отделении бетономесительного узла после рукавного фильтра ФВК-30 в газоходе diam. 450 мм. Измерялись концентрация цементной пыли в отходящих газах, температура которых $15—20^\circ\text{C}$. В ЦМК концентрация кварцевой пыли измерялась в отделе гранул после циклона-промывателя, установленного в газоходе

ТЕХНИЧЕСКИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ ПЫЛЕМЕРОВ, РАЗРАБОТАННЫХ В СССР

Марка прибора	Метод измерения	Измеряемые концентрации, г/м³	Характеристика потока		Режим измерения	Основная область применения
			скорость, м/с	температура, °С		
ПВ-2М	Весовой	0,1—100	10—30	<400	Циклический	Цементные заводы
ПП-2	»	<40	8—30	<350	»	То же
НИИМ-2	Оптический абсорбционный	Оптическая плотность 0—6,0	—	<400	Непрерывный	Тепловые электростанции
УПК-65	То же	Оптическая плотность 0—1,0	—	<200	»	То же
ПК-4	Контактно-электрический	0,05—50	До 70	<300	»	Агломерационные фабрики, доменные печи
АЭР-4	Весовой	>0,4	—	35	Циклический	Аспириационные системы
ИКП-1	Зарядно-индукционный	0,1—500	—	35	Непрерывный	То же
ПРИЗ	Радиоизотопный	0,5	—	35	»	»
ЭИП-1	Зарядно-индукционный	0,2	—	50	»	»

диам. 300 мм, при температуре отходящих газов 15—20 °С. В РСЦ концентрация древесной пыли измерялась на выходе циклона «Гипродрев», очищающего воздух в помещении, где работают деревообрабатывающие станки.

При эксплуатации пылемера необходимо периодически проверять показания прибора. В пылемере ИВА-2 это можно сделать с помощью специального поверочного блока, который совместно с первичным измерительным преобразователем позволяет получить контрольные сигналы для остальной части прибора. Для измерения относительно небольших концентраций пыли разработано несколько типов пылемеров.

В весовых пылемерах [12] для осаждения пыли используется метод фильтрации. На этом методе основан отечественный прибор АЭР-4, разработанный для горнорудной промышленности. Прибор переносной в искробезопасном исполнении.

Радиоизотопные пылемеры [13] типа ИКП-5343 работают по следующей схеме. Запыленный воздух за счет разрежения, создаваемого эжектором, просасывается через ленточный фильтр из фильтровальной ткани ФПП-15. В качестве источника радиоактивного излучения используется изотоп ²⁰⁴Ti. Фильтр с пылевым осадком подвергается воздействию β-излучения, а затем число заряженных частиц регистрируется сцинтилляционным счетчиком.

Переносной пылемер марки ПРИЗ [14] предназначен для экспресс-анализа концентрации пыли во взрывоопасной атмосфере с целью оперативного контроля эффективности работы пылеуловителей.

Зарядно-индукционный метод оказался перспективным для пылемеров, в которых частицы пыли заряжаются под действием импульсного коронного разряда. На базе этого метода разработана серия пылемеров типа ЭИП [15]. К числу зарядно-индукционных приборов относится пылемер ИКП-1, обеспечивающий непрерывный контроль и регистрацию концентрации пыли [16].

Принцип действия прибора основан на электризации частиц пыли в поле импульсного отрицательного коронного разряда при напряжении 4—5 кВ и последующем измерении их суммарного заряда.

В табл. 1.5 приведены технические характеристики некоторых типов пылемеров, выпускаемых предприятиями-разработчиками.

1.5. МЕТОДЫ РАСЧЕТА ЭФФЕКТИВНОСТИ РАБОТЫ ПЫЛЕУЛОВИТЕЛЕЙ

Эффективность очистки газов (степень очистки, коэффициент полезного действия) обычно выражается отношением количества уловленного материала к количеству материала, поступающего в газоочистной аппарат с пылегазовым потоком, за определенный период времени.

Эффективность очистки в пылеулавливающих аппаратах определяют в основном весовым методом; существует несколько вариантов расчета.

1. Эффективность очистки может быть определена по содержанию пыли в газах до поступления в газоочистной аппарат и на выходе из него:

$$\eta = \frac{G_{ВХ} - G_{ВЫХ}}{G_{ВХ}} = \frac{V_{НХ} z_{ВХ} - V_{ВЫХ} z_{ВЫХ}}{V_{ВХ} z_{ВХ}} = 1 - \frac{z_{ВХ} - z_{ВЫХ}}{V_{ВХ} z_{ВХ}} \quad (1.22)$$

где $G_{вх}$, $G_{вых}$ — массовый расход частиц пыли (капель, тумана) в газах, соответственно поступающих и выходящих из газоочистного аппарата, кг/с; $V_{вх}$, $V_{вых}$ — объемный расход газов, соответственно поступающих и выходящих из газоочистного аппарата, м³/с; $z_{вх}$, $z_{вых}$ — концентрация частиц в газах, соответственно поступающих и выходящих из газоочистного аппарата, кг/м³.

Если объемный расход газов, проходящих через газоочистный аппарат, изменяется за счет подсоса воздуха, эффективность аппарата определяют в соответствии с объемным расходом воздуха при подсосе, исходя из концентрации какого-либо газового компонента, не вступающего в аппарате в реакции (обычно SO₂ или CO₂):

$$\eta = 1 - K_{п} z_{вых} / z_{вх}. \quad (1.23)$$

где $K_{п}$ — коэффициент подсоса, равный отношению концентраций анализируемого газового компонента в газах, % (объемн.), после и до аппарата.

2. Эффективность очистки может быть определена по концентрации пыли в газах до поступления в аппарат и количеству уловленной пыли: $\eta = G_{ул} / V_{вх} z_{вх}$, где $G_{ул}$ — количество уловленной пыли, кг/с.

3. Эффективность по количеству уловленной аппаратом пыли и концентрации пыли в газах, выходящих из аппарата:

$$\eta = G_{ул} / (G_{ул} + V_{вых} z_{вых}). \quad (1.24)$$

4. Коэффициент очистки газов часто определяют по фракционной эффективности — степени очистки газов от частиц определенного размера. Фракционная эффективность очистки η_{ϕ} исчисляется по формуле

$$\eta_{\phi} = \frac{\Phi_{вх} - \Phi_{вых} (1 - \eta)}{\Phi_{вх}},$$

где $\Phi_{вх}$, $\Phi_{вых}$ — содержание данной фракции в газах соответственно на входе и выходе из фильтра, %.

Зная фракционную степень очистки газов, можно определить общую степень очистки:

$$\eta = \frac{\eta_{\phi 1} \Phi_1}{100} + \frac{\eta_{\phi 2} \Phi_2}{100} + \dots + \frac{\eta_{\phi n} \Phi_n}{100}, \quad (1.25)$$

где Φ_1 , Φ_2 , ..., Φ_n — содержание данной фракции на входе в фильтр, %.

Для расчета по этой формуле могут быть использованы кривые фракционных эффективностей (степеней очистки), полученные экспериментальным путем для некоторых типов пылеуловителей.

5. В некоторых случаях кривая фракционной эффективности аппарата $\eta_{\phi} = f(d_q)$ при построении в вероятностно-логарифмической системе координат приобретает вид прямой линии, свидетельствующей о том, что она может быть записана в виде интеграла вероятности:

$$\eta_{\phi} = \int_{-\infty}^{\lg(d_q/d_{50})} \frac{1}{\lg \sigma_{\eta} \sqrt{2\pi}} e^{-\frac{\lg^2(d_q/d_{50})}{\lg^2 \sigma_{\eta}}} d[\lg(d_q/d_{50})], \quad (1.26)$$

где $\lg(d_q/d_{50})$ — логарифм отношения текущего размера частиц d_q к диаметру частиц d_{50} , осаждаемых в аппарате при данном режиме его работы на 50 %; $\lg \sigma_{\eta}$ — стандартное отклонение в функции распределения фракционных коэффициентов очистки.

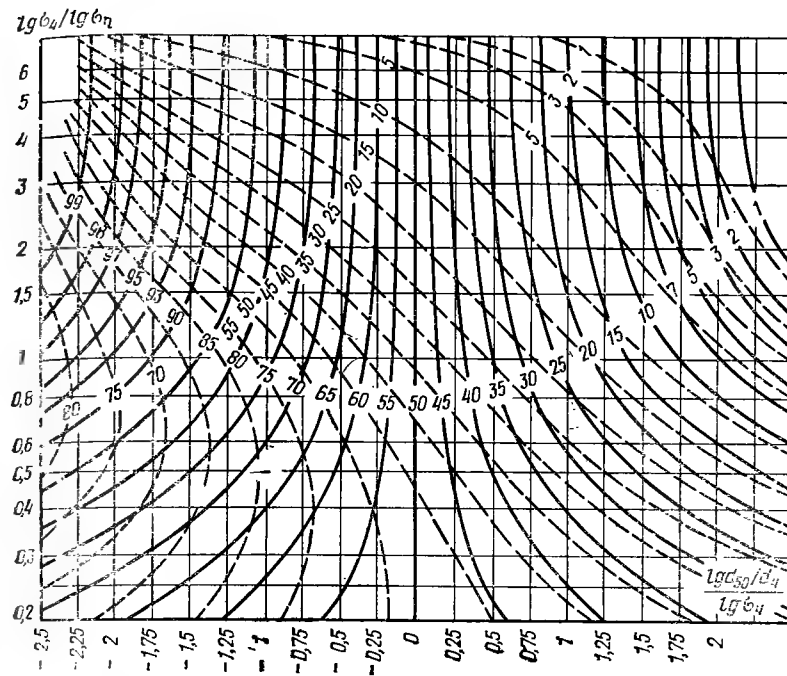


Рис. 1.44. Номограмма для расчета эффективности работы пылеуловителей

Значение d_{50} соответствует ординате графика $\eta_{\phi} = f(d_q)$, равной 0,5 (50 %), а $\lg \sigma_{\eta}$ находится из соотношения

$$\lg \sigma_{\eta} = \lg d_{50} - \lg d'_{15,97} = \lg d'_{84,13} - \lg d_{50}, \quad (1.27)$$

где $d'_{15,97}$ — значение абсциссы, ордината которой равна 0,1597 (15,97 %); $d'_{84,13}$ — значение абсциссы, ордината которой равна 0,8403 (84,03 %).

Если распределение подлежащих улавливанию частиц пыли на входе в аппарат является логарифмически-нормальным, то зависимость $\eta_{\phi} = f(d_q)$ может быть записана в виде интеграла вероятности (1.26). Тогда значение полного коэффициента очистки можно найти по формуле

$$\eta = \frac{1}{2\pi} \int_{-\infty}^x e^{-\frac{t^2}{2}} dx = \Phi(x), \quad (1.28)$$

где

$$x = \lg(d_q/d_{50}) / \sqrt{\lg^2 \sigma_{\eta} + \lg^2 \sigma_{\eta}}.$$

Значения функции $\Phi(x)$ в зависимости от величины x приведены в табл. 1.6.

ТАБЛИЦА 1.6

ЗНАЧЕНИЯ НОРМАЛЬНОЙ ФУНКЦИИ РАСПРЕДЕЛЕНИЯ

x	$\Phi(x)$	x	$\Phi(x)$	x	$\Phi(x)$	x	$\Phi(x)$
-2,70	0,0035	-1,06	0,1446	0,00	0,5000	1,08	0,8599
-2,60	0,0047	-1,04	0,1492	0,02	0,5080	1,10	0,8643
-2,50	0,0062	-1,02	0,1539	0,04	0,5160	1,12	0,8686
-2,40	0,0082	-1,00	0,1587	0,06	0,5239	1,14	0,8729
-2,30	0,0107	-0,98	0,1635	0,08	0,5319	1,16	0,8770
-2,20	0,0139	-0,96	0,1685	0,10	0,5398	1,18	0,8810
-2,10	0,0179	-0,94	0,1736	0,12	0,5478	1,20	0,8849
-2,00	0,0228	-0,92	0,1788	0,14	0,5557	1,22	0,8888
-1,98	0,0239	-0,90	0,1841	0,16	0,5636	1,24	0,8925
-1,96	0,0250	-0,88	0,1894	0,18	0,5714	1,26	0,8962
-1,94	0,0262	-0,86	0,1949	0,20	0,5793	1,28	0,8997
-1,92	0,0274	-0,84	0,2005	0,22	0,5871	1,30	0,9032
-1,90	0,0288	-0,82	0,2061	0,24	0,5948	1,32	0,9066
-1,88	0,0301	-0,80	0,2119	0,26	0,6026	1,34	0,9099
-1,86	0,0314	-0,78	0,2177	0,28	0,6103	1,36	0,9131
-1,84	0,0329	-0,76	0,2236	0,30	0,6179	1,38	0,9162
-1,82	0,0344	-0,74	0,2297	0,32	0,6255	1,40	0,9192
-1,80	0,0359	-0,72	0,2358	0,34	0,6331	1,42	0,9222
-1,78	0,0375	-0,70	0,2420	0,36	0,6406	1,44	0,9251
-1,76	0,0392	-0,68	0,2483	0,38	0,6480	1,46	0,9279
-1,74	0,0409	-0,66	0,2546	0,40	0,6554	1,48	0,9306
-1,72	0,0427	-0,64	0,2611	0,42	0,6628	1,50	0,9332
-1,70	0,0446	-0,62	0,2676	0,44	0,6700	1,52	0,9357
-1,68	0,0465	-0,60	0,2743	0,46	0,6772	1,54	0,9382
-1,66	0,0485	-0,58	0,2810	0,48	0,6844	1,56	0,9406
-1,64	0,0505	-0,56	0,2877	0,50	0,6915	1,58	0,9429
-1,62	0,0526	-0,54	0,2946	0,52	0,6985	1,60	0,9452
-1,60	0,0548	-0,52	0,3015	0,54	0,7054	1,62	0,9474
-1,58	0,0571	-0,50	0,3085	0,56	0,7123	1,64	0,9495
-1,56	0,0594	-0,48	0,3156	0,58	0,7190	1,66	0,9515
-1,54	0,0618	-0,46	0,3228	0,60	0,7257	1,68	0,9535
-1,52	0,0643	-0,44	0,3300	0,62	0,7324	1,70	0,9554
-1,50	0,0668	-0,42	0,3372	0,64	0,7389	1,72	0,9573
-1,48	0,0694	-0,40	0,3446	0,66	0,7454	1,74	0,9591
-1,46	0,0721	-0,38	0,3520	0,68	0,7517	1,76	0,9608
-1,44	0,0749	-0,36	0,3594	0,70	0,7580	1,78	0,9625
-1,42	0,0778	-0,34	0,3669	0,72	0,7642	1,80	0,9641
-1,40	0,0808	-0,32	0,3746	0,74	0,7703	1,82	0,9656
-1,38	0,0838	-0,30	0,3821	0,76	0,7764	1,84	0,9671
-1,36	0,0869	-0,28	0,3897	0,78	0,7823	1,86	0,9686
-1,34	0,0901	-0,26	0,3974	0,80	0,7881	1,88	0,9699
-1,32	0,0934	-0,24	0,4052	0,82	0,7939	1,90	0,9713
-1,30	0,0968	-0,22	0,4129	0,84	0,7995	1,92	0,9726
-1,28	0,1003	-0,20	0,4207	0,86	0,8051	1,94	0,9738
-1,26	0,1038	-0,18	0,4286	0,88	0,8106	1,96	0,9750
-1,24	0,1075	-0,16	0,4364	0,90	0,8159	1,98	0,9761
-1,22	0,1112	-0,14	0,4443	0,92	0,8212	2,00	0,9772
-1,20	0,1151	-0,12	0,4522	0,94	0,8264	2,10	0,9821
-1,18	0,1190	-0,10	0,4602	0,96	0,8315	2,20	0,9861
-1,16	0,1230	-0,08	0,4681	0,98	0,8365	2,30	0,9893
-1,14	0,1271	-0,06	0,4761	1,00	0,8413	2,40	0,9918
-1,12	0,1314	-0,04	0,4840	1,02	0,8461	2,50	0,9938
-1,10	0,1357	-0,02	0,4920	1,04	0,8508	2,60	0,9953
-1,08	0,1401	-0,00	0,5000	1,06	0,8554	2,70	0,9965

Вместо вычислений по формуле (1.28) можно воспользоваться номограммой, приведенной на рис. 1.44; на ней сплошные линии соответствуют постоянным значениям η для различных значений $\lg \sigma_0 / \lg \alpha$ и $\lg(d_{50}/d_0) / \lg \sigma_0$, отложенных на осях координат. Пунктирные линии соответствуют постоянным значениям η для второго аппарата в случае последовательной установки двух одинаковых аппаратов.

Необходимо иметь в виду, что расчет эффективности по формуле (1.28), как и использование номограммы, приведенной на рис. 1.44, возможен только для пылеуловителей, работающих в тех режимах, при которых были найдены значения их фракционных коэффициентов очистки.

Эффективность улавливания пыли может быть выражена в виде коэффициента проскока частиц (степени неполноты улавливания), который представляет собой отношение концентрации частиц за пылеуловителем к их концентрации перед ним.

Коэффициент проскока ϵ рассчитывается по формуле: $\epsilon = 100 - \eta$.

Суммарную степень очистки газов η , достигаемую в нескольких последовательно установленных аппаратах, определяют по формуле: $\eta = 1 - (1 - \eta_1)(1 - \eta_2) \dots (1 - \eta_n)$, где $\eta_1, \eta_2, \dots, \eta_n$ — степень очистки газов от пыли соответственно в первом, втором и n -ом пылеуловителе.

1.6. СПОСОБЫ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ФИЗИКО-ХИМИЧЕСКИХ СВОЙСТВ ПЫЛЕЙ

Общие положения

Эффективная и надежная работа пылеулавливающего оборудования в значительной степени зависит от физико-химических свойств пылегазового потока. При проектировании и оценке работы аппаратов и систем пылеулавливания необходимо учитывать ряд свойств подлежащей улавливанию пыли. В работе [5] предложена классификация пылей, которая предусматривает деление свойств и соответствующих характеристик пылевидных материалов на четыре группы.

К первой группе относятся свойства вещества, из которого состоят частицы: химический состав вещества, его упругость, твердость, плотность, электропроводность, диэлектрические и магнитные свойства, гигроскопичность, растворимость. Вторую группу составляют свойства индивидуальных частиц. Сюда относятся геометрические параметры — размер, форма, шероховатость и поверхностные свойства материала, из которого состоят частицы. Поверхностные свойства и геометрические параметры наряду со свойствами материала влияют на силы аутогезии и силы трения в индивидуальных контактах.

В третью группу входят свойства пылевидного материала как совокупности множества частиц. Эти свойства не зависят от плотности упаковки частиц. Аутогезионная способность частиц и дисперсный состав определяют аутогезионную способность пылевидного материала, т. е. его способность противостоять растягивающим нагрузкам за счет сил аутогезии. Эту характеристику называют также сжимаемостью пыли. Ее можно количественно характеризовать по прочности на разрыв слоя, уплотненного стандартной нагрузкой (50 кПа).

Фракционные свойства частиц и дисперсный состав определяют внутреннее трение пылевидного материала, от которого зависит условия течения и разрушения пылевых слоев. Для грубодисперсных материалов внутреннее трение исчерпывающе характеризуется углом внутреннего трения и сцеплением слоя.

Существует ряд характеристик, отражающих специфическое поведение пыли как дисперсного материала в конкретных пылеуловителях. К таким технологическим характеристикам относятся уплотняемость пыли, угол естественного откоса, угол обрушения, скорость истечения из воронки, максимальный сводообразующий размер отверстия, способность к псевдооживлению, распыляемость, комкуемость, слеживаемость.

В *четвертую группу* входят свойства пылевого слоя, сформированного из данного пылевидного материала. Специфическими характеристиками пылевого слоя являются плотность упаковки частиц и прочность контактов между частицами. Они зависят от свойств пылевидного материала и условий формирования слоя при механической фильтрации (рукавные фильтры, зернистые фильтры), электрической фильтрации (электрофильтры) и др.

Плотность пыли. Это одна из важнейших характеристик, от которой зависит эффективность работы пылеуловителей. Различают: истинную плотность (масса единицы объема частиц, не имеющих пор); кажущуюся плотность (масса единицы объема частиц, включая объем закрытых пор); объемную плотность (масса единицы объема частиц, включая объем закрытых и открытых пор); насыпную плотность (масса единицы объема уловленной пыли, свободно насыпанного в какую-либо емкость непосредственно после ее заполнения. В объем входят внутренние поры частиц и промежуточное пространство между ними); насыпную плотность при встряхивании (масса единицы объема пыли при самой плотной упаковке частиц, достигаемой путем встряхивания).

По данным о плотности частиц определяют седиментационный диаметр частиц, насыпную плотность для расчета и выбора объема бункеров и пылевыгрузных устройств. Плотность пыли определяют только после отделения ее частиц от газовой среды. Методики определения плотности уловленной пыли и порошкообразного материала идентичны и подробно изложены в [3].

Если пыль получена путем измельчения монолита, то плотность материала частиц совпадает с истинной плотностью. Частицы промышленной пыли, образующейся в результате термической обработки, гранулирования, сушки и других процессов, имеют закрытые поры, из которых не удастся удалить газовые включения. Плотность таких частиц соответствует кажущейся плотности.

Промышленная пыль может состоять из частиц как одинаковой, так и различной плотности. К первому виду относятся, например, кварцевая, корундовая пыль или химически чистые соли, ко второму — летучая зола, в грубых фракциях которой имеются несгоревшие частицы топлива, а в тонких — повышенное количество солей кальция и щелочных металлов.

В зависимости от крупности фракции могут содержать частицы различной структуры. Так, в грубых фракциях силикагеля и синтетических моющих порошков содержатся неразрушенные полые частицы, а в тонких — разрушенные, имеющие другую структуру и соответственно другую кажущуюся плотность. В тех случаях, когда плотность различных по крупности частиц существенно различается, пыль необходимо разделить на фракции, и при вычислении седиментационного диаметра следует принимать для отдельных фракций соответствующие значения плотности.

Для расчетов, связанных с выбором или оценкой работы пылеуловителей, требуются сведения о кажущейся плотности, найденные для всей совокупности частиц в пробе. Такие данные можно получить методом пикнометрии с применением жидкости, не смачивающей частицы и, следовательно, не заполняющей имеющиеся в них поры.

Пикнометрический способ основан на определении объема жидкости, вытесненной пылью, масса которой известна. Частное от деления массы пробы на вытесненный ею объем есть плотность пыли.

Применяемая жидкость не должна взаимодействовать с пылью. Поэтому целесообразно пользоваться жидкостью, применяемой для дисперсионного анализа жидкостным седиментометрическим методом.

Методика проведения анализа пикнометрическим способом изложена в [3].

Насыпная плотность определяется отношением массы свеженасыпанных твердых частиц к занимаемому ими объему с учетом воздушных промежутков между частицами. Величиной насыпной плотности пользуются для определения объема бункеров пылеуловителей, а также при выборе систем транспортировки уловленной пыли (шнеки, пневмонасосы и др.). С увеличением однородности частиц по размерам их насыпная плотность уменьшается, так как увеличивается относительный объем воздушных прослоек.

Установлено, что насыпная масса слежавшейся пыли в 1,2—1,5 раза больше, чем свеженасыпанной, следовательно, она занимает объем в 0,7—0,9 раза меньше первоначального [17].

Кажущаяся плотность гладких монолитных частиц совпадает с истинной, очевидно, такие частицы будут лучше улавливаться в сухих пылеуловителях (циклонах, рукавных фильтрах, электрофильтрах), чем пористые, так как при одинаковой массе они в меньшем количестве подвержены выносу с газовым потоком из аппарата.

В зависимости от степени гидратации пыли величины кажущейся и насыпной плотности могут различаться в 2—3 раза [18].

Дисперсный состав пылей

Дисперсный состав является одной из важнейших характеристик тонкоизмельченных материалов, определяющих их физико-химические свойства. В технике пылеулавливания и очистки газов дисперсный состав пыли имеет решающее значение, так как основной круг вопросов по расчету и выбору оборудования связан с этим параметром подлежащей улавливанию пыли.

Дисперсным (зерновым, гранулометрическим) составом пыли называется характеристика состава дисперсной фазы по размерам или скоростям оседания частиц. Она показывает, какую долю по массе, объему, поверхности или числу частиц составляют частицы в любом диапазоне их размеров или скоростей оседания. Дисперсный состав может быть выражен в виде таблицы, кривой или формулы распределения частиц пыли.

Степень дисперсности представляет собой качественный показатель, характеризующий «тонкость» пыли. В качестве условных показателей этого же свойства используются удельная поверхность, средний диаметр частиц, медианный диаметр и другие величины [19].

Проходом D (остатком R) называется выраженная в процентах доля массы пыли, прошедшая через сито (оставшаяся на сите) с заданными размерами ячеек, от общей массы просеиваемой пробы пыли. Термины «проход» и «остаток» применяют и для подситовой области, подразумевая при этом долю массы частиц меньше или больше заданного размера.

Оформление результатов анализа. Результаты определения дисперсного состава в большинстве случаев представляются в виде таблиц. Наиболее часто данные дисперсионного анализа даются в виде фракций, выраженных в процентах от общего числа или массы (табл. 1.7).

ТАБЛИЦА 1.7

ФРАКЦИИ ПЫЛИ

Размеры частиц на границах фракций, мкм	Фракции, % от общей массы частиц	Размеры частиц на границах фракций, мкм	Фракции, % от общей массы частиц
< 1,6	2,08	10—16	18,74
1,6—2,5	3,61	16—25	14,57
2,5—4	8,32	25—40	12,50
4—6,3	17,56	> 40	2,02
6,3—10	20,60		

В некоторых методах анализа результаты записываются в виде таблиц с указанием процента массы или числа частиц, имеющих размер больше или меньше заданного (табл. 1.8).

Результаты дисперсионного анализа можно представить в виде графиков. Принимая равномерным распределение частиц по размерам внутри каждой фракции, строят ступенчатый график, называемый гистограммой. По оси абсцисс откладывают размеры частиц, а по оси ординат — относительное содержание фракций, т. е. процентное содержание каждой фракции, отнесенное к массе всего материала (рис. 1.45, а).

Если процентное содержание каждой фракции разделить на разность размеров частиц, принятых в качестве граничных, и найденные значения отложить в системе координат как ординаты точек, абсциссы которых равны среднему для соответствующих фракций размеру частиц, то через полученные точки можно провести плавную дифференциальную кривую распределения частиц по размерам (рис. 1.45, б). Однако наиболее удобным является графическое изображение результатов дисперсионных анализов в виде интегральных кривых $R(d_q)$ или $D(d_q)$, каждая точка которых показывает относительное содержание частиц с размерами больше или меньше заданного (рис. 1.45, в).

Интегральные кривые для частиц с логарифмически нормальным распределением удобно строить в вероятностно-логарифмической системе координат, где они приобретают вид прямых линий (рис. 1.45, г). Для построения такой системы координат по оси абсцисс в логарифмическом масштабе откладывают значения d_q , а по оси ординат — значения $D(d_q)$ или $R(d_q)$. Относительные длины отрезков x , соответствующих различным значениям $D(d_q)$ или $R(d_q)$, которые для построения

вероятностно-логарифмической системы координат следует откладывать в выбранном масштабе от начала оси абсцисс, приведены ниже.

%	x	%	x	%	x
50	0	30; 70	0,524	10; 90	1,282
48; 52	0,050	28; 72	0,583	8; 92	1,405
46; 54	0,100	26; 74	0,643	6; 94	1,555
44; 56	0,151	24; 76	0,706	5; 95	1,645
42; 58	0,202	22; 78	0,772	4; 96	1,751
40; 60	0,253	20; 80	0,842	3; 97	1,881
38; 62	0,305	18; 82	0,915	2; 98	2,054
36; 64	0,358	16; 84	0,994	1; 99	2,326
34; 66	0,412	14; 86	1,080	0,5; 99,5	2,576
32; 68	0,468	12; 88	1,175	0,3; 99,7	2,748

Поскольку в вероятностно-логарифмической системе координат ось абсцисс начинается от точки на оси ординат, соответствующей значению 50 %, значения x для $D(d_q)$ или $R(d_q)$ больше 50 % откладываются вверх от начала оси абсцисс, а меньше 50 % — вниз.

Построив по результатам дисперсионного анализа интегральную функцию распределения частиц по размерам в вероятностно-логарифмической системе координат, можно (если получившийся график имеет вид прямой линии, свидетельствующий о логарифмически нормальном характере изучаемого распределения) выразить это распределение в виде параметров d_m и $\lg \sigma_q$ (табл. 1.9).

Значению d_m отвечает точка пересечения построенного графика с осью абсцисс, а $\lg \sigma_q$ находят из соотношения, которое является свойством интеграла вероятности: $\lg \sigma_q = \lg d_{15,9} - \lg d_m = \lg d_m - \lg d_{84,1}$, если строился график функции $R(d_q)$, или $\lg \sigma_q = \lg d_{84,1} - \lg d_m = \lg d_m - \lg d_{15,9}$.

Здесь $d_{84,1}$ и $d_{15,9}$ — абсциссы точек, ординаты которых имеют значения соответственно 84,1 и 15,9.

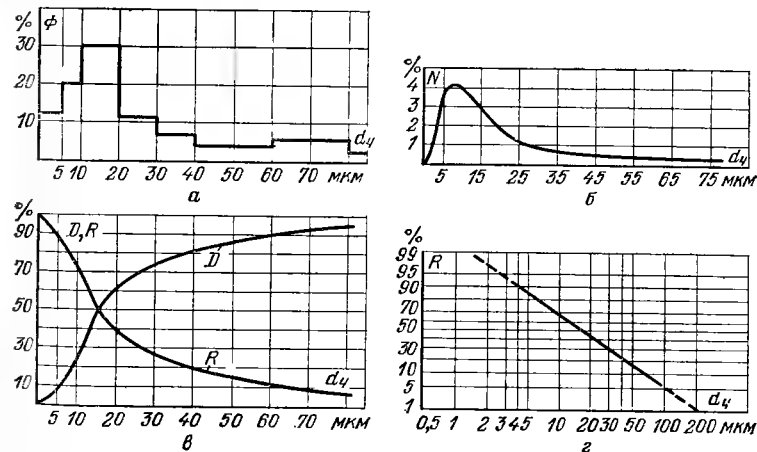


Рис. 1.45. Графическое изображение дисперсного состава:

а — распределение по фракциям; б — дифференциальная кривая распределения; в — интегральное распределение в линейном масштабе координат; г — интегральное распределение в вероятностно-логарифмической системе координат

ТАБЛИЦА 1.8

ФРАКЦИИ ПЫЛИ С ЧАСТИЦАМИ МЕНЬШЕ ИЛИ БОЛЬШЕ ЗАДАННОГО РАЗМЕРА

Размер частиц, мкм	Общая масса частиц, %		Размер частиц, мкм	Общая масса частиц, %	
	мельче	крупнее		мельче	крупнее
min	0,00	100,00	10	52,17	47,83
1,6	2,08	97,92	16	70,91	29,09
2,5	5,69	94,31	25	85,48	14,52
4,0	14,01	85,99	40	97,98	2,02
6,3	31,57	68,43	max	100,00	0,00

ТАБЛИЦА 1.9

ДИСПЕРСНЫЙ СОСТАВ ПЫЛЕЙ, ОБРАЗУЮЩИХСЯ ПРИ НЕКОТОРЫХ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПРОЦЕССАХ

Технологическое оборудование	Материал частиц	Запыленность газов, г/м ³	d_m	$\lg \sigma_i$
Вращающаяся обжиговая печь	Магнезит	100—120	43	0,615
Шахтная мельница	Доломит	35—45	28	0,506
Вращающаяся цементная пача (сухой способ производства)	Магнезит	1200	72	0,95
Электролизер алюминия (боковой токоподвод)	Клинкер	40	11	0,345
Печь для обжига клинкера (мокрый способ производства)	Смесь шлака и трепела	20	20	0,652
	Оксиды алюминия	1	20	0,352
Цементная мельница	Клинкер	25—30	23	0,501
Распылительная сушилка	»	9—9,6	9,5	0,602
Барabanная сушилка	»	28,5	14	0,535
Мусоросжигательная печь	Двойной су-перфосфат	18,5	8	0,494
Печь кипящего слоя	»	45	17	0,421
	Зола	3—5	80	0,210
	Известняк	12—16	35	0,360
		17	41	0,472
		27	29	0,502

Разработано большое число методов определения дисперсного состава пыли, которые подробно изложены в [19, 20].

В технике пылеулавливания и очистки газов практический интерес представляют приборы, позволяющие определить дисперсность частиц с учетом агрегации в пылегазовых потоках. К классу приборов, с помощью которых можно разделить частицы на фракции без предварительного выделения из пылегазового потока, относятся ротационные анализаторы пыли и каскадные импакторы.

Ротационный анализатор дисперсности пыли РАД-1. Метод основан на центробежной сепарации частиц пыли в процессе движения пылегазового потока по вращающемуся ротору и определении массы осадка на различном расстоянии от начала проточного канала ротора. При помощи РАД-1 можно определять дисперсный состав пыли в интервале 1,5—100 мкм при температуре газа до 160 °С и запыленности газового потока до 50 г/м³.

Ротационный анализатор относится к классу центрифуг проточного типа. Пылегазовый поток просасывается по каналу вращающегося ротора. Под действием центробежных сил частицы пыли выделяются из потока и оседают на стенке канала. Скорость движения частиц к стенке канала пропорциональна квадрату их диаметра. Следовательно, распределение массы осадка по длине ротора обусловлено дисперсным составом пыли. Исходя из распределения массы осадка по длине канала, рассчитывают дисперсный состав пыли. Для этого требуется знать граничную длину l осаждения частиц различного размера. Значения l определяются по калибровочному графику, на котором по оси абсцисс откладываются значения граничного седиментационного диаметра частиц δ_s , а по оси ординат — значения длины канала ротора l . На зна-

чении l оказывают также влияние частота вращения ротора, скорость движения запыленного потока по каналу ротора, а также плотность материала частиц и вязкость газа.

Общее количество осажденной в приборе пыли, отнесенное к объему прошедшего через ротор газа, дает величину запыленности потока.

Устройство прибора. Ротор анализатора (рис. 1.46) состоит из двух коаксиальных трубок 1 и 2; кольцевая щель 3 между ними служит проточным каналом ротора. Ротор размещен в корпусе, состоящем из трубки 6, на концах которой укреплены передняя 7 и задняя 11 голов-

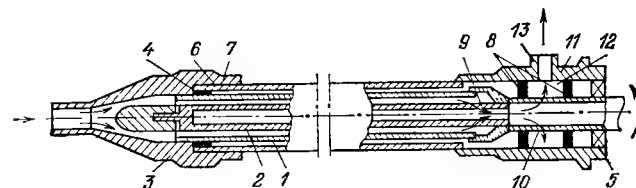


Рис. 1.46. Ротационный анализатор пыли РАД-1

ки. В головках расположены подшипники 4 и 5, а также устройства ввода и вывода потока газа из проточного канала. По оси передней головки посредством винтообразных направляющих фиксируется колуус-обтекатель 7. В задней головке с помощью уплотнения 8 образуется герметичная камера 12, сообщающаяся через окна 9 и 10 в трубке 2 с проточным каналом ротора 3.

Вращение ротора осуществляется ручной сверлильной электрической машиной ИЭ-1003А (ГОСТ 8524—80), подсоединенной к ротору с помощью переходной втулки. Частота вращения контролируется тахометром, вмонтированным в переходную втулку, а регулируется путем изменения напряжения, подаваемого на электродвигатель ротационного анализатора.

Пылегазовый поток по заборной трубке поступает в головку и направляется в кольцевой канал, где ему сообщается вращательное движение. Пылевые частицы осаждаются на внутренней поверхности трубки. С целью удобства сбора пыли в проточный канал вставляется пылесборная трубка — набор цилиндров из алюминиевой фольги. Не осевшая в канале пыль улавливается фильтром, присоединяемым к штуцеру 13.

Подготовка и проведение анализа в производственных условиях. Отбор пробы из пылегазового потока непосредственно в газоходе или воздуховоде проводят в точках, выбранных для измерения запыленности потока. Размеры анализатора позволяют вводить его в газоход через штуцер, используемые для ввода пылезаборной трубки.

Перед отбором пробы исследуют поле скоростей в сечении газохода. Если скорость газа в каждой точке измерения отличается от усредненной по сечению газохода скорости не более чем на 15 % или отбираемая пыль тонкая (80—90 % частиц меньше 5 мкм), то пробу можно отбирать из одной точки сечения (обычно по оси газохода). В других случаях дисперсный состав пыли определяют в каждой точке измерения, а за окончательный результат принимают усредненное значение.

Перед началом анализа пылесборные цилиндры анализатора взвешивают на аналитических весах с точностью до 0,0001 г. Затем взвешенные цилиндры соединяют так, чтобы получилась трубка; ее заворачивают

чивают в кальку и помещают в канал ротора. После этого наворачивают головку 7. В фильтровальный патрон анализатора помещают фильтр типа АФА-ХА-18 при отборе газа с температурой до 130 °С или набивку из стекловолокна, которая выдерживает температуру до 250 °С. Фильтр со стекловолокном доводится до постоянной массы высушиванием при температуре 250 °С. Набивку уплотняют так, чтобы гидравлическое сопротивление фильтровального патрона при расходе газа 20 л/мин достигало 6—9 кПа. Патрон с фильтром взвешивают с точностью до 0,0001 г и помещают в фильтрующее устройство анализатора, имеющее обогрев для предотвращения возможной конденсации влаги.

Подготовленный к работе прибор проверяют на герметичность. Для этого прибор подключают через расходомер к побудителю тяги и создают расход газа через прибор 15—25 л/мин. При включенном роторе плотно закрывают входное отверстие заборной трубки анализатора. Если прибор герметичен, показание расходомера должно упасть до нуля. Если обнаружится подсос, следует сменить прокладки и вновь проверить прибор на герметичность. При сборе установки (см. рис. 1.24, б) вместо фильтрующего элемента и пылезаборной трубки подключают ротационный анализатор.

Время отбора пробы рассчитывают, исходя из условия, чтобы масса пыли, осажденной в трубке прибора, была в пределах 25—250 мг. Минимальная продолжительность отбора пробы пыли при ее содержании в газе от 0,1 до 50 г/м³ составит при этих условиях 20—25 с.

По формулам (1.10), (1.11) рассчитывают показания шкалы расходомера, исходя из условия, что расход газа через прибор во время анализа должен быть 20 л/мин. Отбор пробы пыли из газохода или воздуховода производят в следующей последовательности:

определяют при помощи микроманометра и пневмометрической трубки скорость газа в точке измерения по сечению газохода;

подбирают наконечник с диаметром заборного отверстия, удовлетворяющим при заданном расходе газа через прибор условию изокINETичности [диаметр наконечника рассчитывают по формуле (1.15) или находят по номограмме (см. рис. 1.28)];

наворачивают на заборную трубку анализатора наконечник, а трубку — на головку прибора;

устанавливают прибор в газоход так, чтобы временно (до включения двигателя ротора и побудителя тяги) устье наконечника было направлено по потоку газа;

включают электрообогрев фильтра и прогревают фильтр в течение 15 мин;

включают двигатель ротора; наблюдая за показанием микроамперметра, регулируют скорость вращения 524 рад/с (частота 5000 об/мин) и поддерживают ее постоянной;

соединяют резиновой трубкой штуцер патрона фильтра через расходомер с побудителем тяги и, регулируя зажим на резиновой трубке, устанавливают заданный расход газа;

поворачивают прибор так, чтобы устье наконечника было направлено навстречу газовому потоку, и отмечают момент начала опыта по часам (минуты и секунды) или пускают в ход секундомер;

поддерживают расход газа через прибор в течение отбора пробы постоянным.

По окончании опыта анализатор разворачивают так, чтобы устье наконечника было направлено по ходу газового потока, и, не выключая ротора и побудителя тяги, извлекают анализатор из газохода. После укладывания анализатора на горизонтальную плоскость последовательно

выключают побудитель тяги и электропитание; отвинчивают головку анализатора и пинцетом вынимают пылесборную трубку. Во избежание ссыпания пыли с первого цилиндра его помещают на лист тонкой фольги размером 40×60 мм.

Трубку с осажженной на ней пылью и фильтрующий патрон помещают в специальный пенал. В таких пеналах пылесборные трубки с пылью транспортируются в лабораторию, где трубку разделяют на отдельные цилиндрики; патрон и цилиндрики взвешивают с точностью до 0,0001 г. Результаты взвешиваний заносят в протокол (табл. 1.10) и по полученным данным строят кривую накопления массы осадка по длине канала ротора: по оси ординат откладывают суммарную массу осадка пыли в пропеитах, а по оси абсцисс — длину канала от начала его кромки в сантиметрах.

Дисперсный состав пыли устанавливают путем математической обработки кривой накопления массы осадка. Седиментационные диаметры частиц определяют по калибровочному графику для соответствующих значений длины трубки.

На рис. 1.47 приведен калибровочный график ротационного анализатора для следующих условий опыта: расход воздуха 20 л/мин; скорость вращения ротора 524 рад/с; плотность материала частиц $\rho_t = 1$ г/см³; температура воздуха 20 °С и его динамическая вязкость $\eta = 1,82 \times 10^{-5}$ Па·с.

Более подробно методика проведения измерений изложена в [3].

Каскадные импакторы. Принцип действия каскадных импакторов основан на инерционной сепарации частиц по размерам при просасывании газопылевой пробы через ряд последовательно установленных сопел

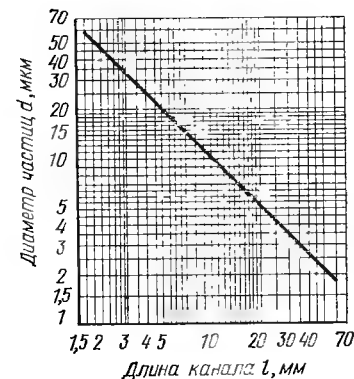


Рис. 1.47. Калибровочный график анализатора пыли РАД-1

ТАБЛИЦА 1.10
ПРОТОКОЛ АНАЛИЗА ЗОЛЫ РОТАЦИОННЫМ АНАЛИЗАТОРОМ

Номер цилиндра	Длина цилиндра, см	Масса цилиндра, г		Привес пыли			Суммарная длина цилиндров, см
		с пылью	чистого	в каждом цилиндре, г	суммарно		
					г	%	
1	2	0,5348	0,5161	0,0187	0,0187	33,2	2
2	2	0,2986	0,2858	0,0128	0,0315	55,9	4
3	3	0,4764	0,4695	0,0069	0,0384	68,1	7
4	5	0,6793	0,6738	0,0055	0,0439	77,9	12
5	7	0,9067	0,9027	0,0040	0,0479	85	19
6	8	0,9569	0,9540	0,0029	0,0508	90,1	27
7	7,5	0,8794	0,8781	0,0013	0,0521	92,4	34,5
Фильтр		7,5364	7,5321	0,0043	0,0564	100	—

или сопловых решеток с расположенными под ними осадительными поверхностями (подложками). Сопло или сопловая решетка и расположенная ниже подложка составляют каскад.

Схема каскадного импактора приведена на рис. 1.48 [21, 22].

При проходе потока через широкое сопло с малой скоростью на подложке осаждаются крупные частицы, а при проходе его через узкое сопло с большой скоростью на следующей подложке осаждаются более мелкие частицы. Поэтому диаметры сопел подбираются так, чтобы размеры частиц, которые могут осесть в данном каскаде, были меньше размеров частиц, способных осесть в предыдущем.

Для того чтобы частицы, столкнувшись с подложкой, не покидали ее поверхности в результате упругого отскока и сдувания, на поверхность осадения наносят специальную липкую смазку или формируют эту поверхность из волокнистого материала. На рис. 1.49 приведено устройство каскадного импактора конструкции НИИОгаза [21].

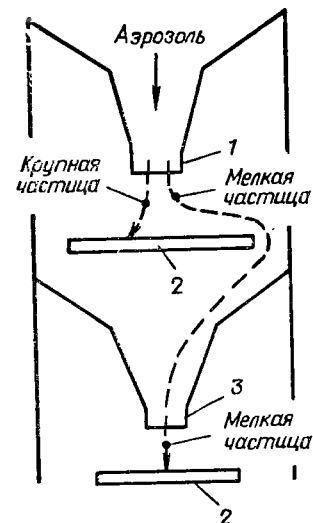


Рис. 1.48. Схема каскадного импактора:

1 — большое сопло; 2 — подложка; 3 — малое сопло

против сопла. Сопла первой ступени выполнены в виде концентрически расположенных щелей в диске, сопла остальных ступеней — в виде отверстий. Для удобства работы на боковых поверхностях дисков нанесена маркировка порядкового номера.

На выходе последней ступени устанавливается фильтровальная каскада 7, заполненная стекловолокном 8 или другим фильтровальным материалом. К торцевой втулке 20 присоединяется газоотсосная трубка 17, удерживаемая втулкой 13 с помощью стопорного винта 16. Втулка крепится к фланцу 11 с помощью трех крепежных винтов 12. Фланец наворачивают на приваренный к стенке газохода 9 штуцер 10. К газоотсосной трубке крепится рукоятка 14, которая вместе со втулкой 15 свободно перемещается вдоль газоотсосной трубки. Входной патрубок 1 снабжен сменным наконечником 21.

При отборе пробы через прибор, установленный внутри газохода,

с помощью газоотсосной трубки просасывают определенный объем газа согласно методике по проведению пылегазовых измерений.

Для проведения измерений с помощью каскадного импактора монтируют установку, состоящую из следующих основных приборов и оборудования (рис. 1.50): устройство для отсоса газа на расход 10 л/мин и более при разрежении до 300 кПа (например, вакуумный насос ГОСТ 14707—69 или эжектор); расходомер на расход газа 10—20 л/мин (реометр ГОСТ 9982—76, ротаметр ГОСТ 13045—67); манометр (ГОСТ 8625—69) с диапазоном измерения до 30 кПа; термометр ртутный лабораторный до 100 и 250 °С (ГОСТ 215—73); секундомер механический (ГОСТ 5012—72); трубка резиновая медицинская (ГОСТ 3399—76) с внутренним диам. 6 и 9 мм; весы аналитические с точностью взвешивания до 0,1 мг (типа ВЛР-200 по ГОСТ 19491—74).

Смазка, обеспечивающая удержание частиц на поверхностях осадения, состоит из твердой и жидкой фаз. Твердая фаза придает смазке густоту, необходимую для того, чтобы она не разбрызгивалась под действием газовой струи, скорость которой на выходе из последнего сопла достигает 100 м/с. Жидкая фаза обеспечивает смачивание оседающих на поверхности частиц в результате ее диффузии из слоя смазки в нарастающий слой пыли.

В приборе конструкции НИИОгаза рекомендуется следующий состав смазки (в массовых долях):

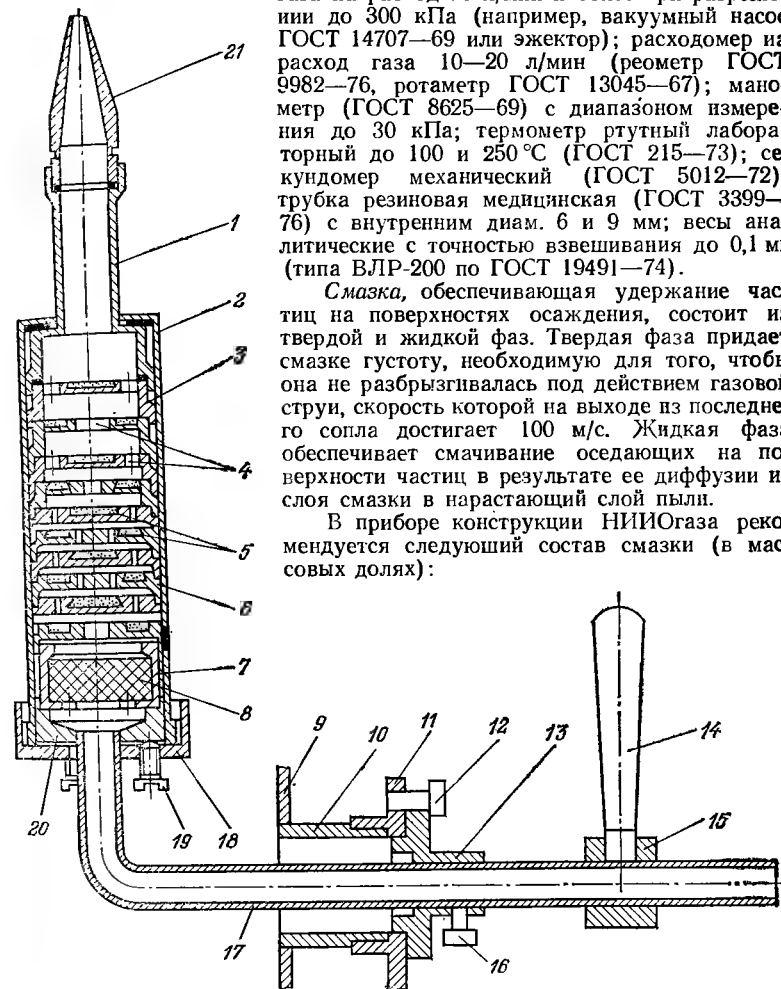


Рис. 1.49. Каскадный импактор конструкции НИИОгаза:

1 — входной патрубок; 2 — корпус; 3 — диски; 4 — сопло; 5 — выемка; 6 — тефлоновые прокладки; 7, 8 — каскады с фильтром; 9 — стенка газохода; 10 — штуцер; 11 — фланец; 12 — крепежные винты; 13 — втулка; 14 — рукоятка; 15 — втулка; 16 — стопорный винт; 17 — газоотсосная трубка; 18 — накидная гайка; 19 — нажимные винты; 20 — торцевая втулка; 21 — сменный наконечник

При температуре газов до 60 °С:

вазелиновое масло	2
газовая сажа	1

При температуре газов до 100 °С:

масло марки МС-20	1
корунд марки М-3	3,2

Отдельные компоненты смазки выдерживаются в сушильном шкафу в течение 90 мин: вазелиновое масло при температуре 70 °С, а масло марки МС-20 при температуре 110—120 °С, после чего компоненты смешиваются в указанных пропорциях до получения однородной массы. Смазка готова к употреблению через 3—4 ч после приготовления.

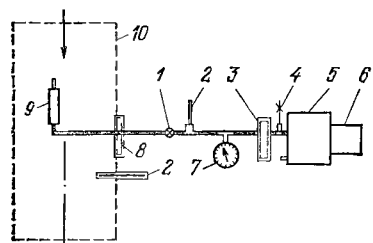


Рис. 1.50. Установка для отбора проб с помощью каскадного импактора:

1, 4 — регулировочные зажимы; 2 — термометр; 3 — расходомер; 5 — воздушная трубка; 6 — двигатель; 7 — манометр; 8 — патрубок с крышкой; 9 — струйный сепаратор; 10 — стенка газохода

цилиндрический корпус 2, следя за тем, чтобы наконечник 21 входного патрубков 1 вошел в верхнее отверстие корпуса. После этого на корпус 2 наворачивают до упора накидную гайку 18 и обеспечивают герметичность прибора путем поджатия с помощью трех нажимных винтов 19 тефлоновых прокладок 6, вставленных в гнезда дисков. На газоотсосную трубку прибора в сборе надевают втулку 13 и рукоятку 14, которую закрепляют в положении, параллельном корпусу прибора. По окончании сборки прибор проверяют на герметичность.

Разборку прибора производят в порядке, обратном сборке: сначала отворачивают нажимные винты, отвертывают накидную гайку и, удерживая прибор за отсосную трубку, снимают корпус; при этом диски вместе с фильтром и входной трубкой удерживаются в вертикальном положении во втулке газоотсосной трубки. Затем от стопки дисков отделяют входную трубку и снимают друг за другом диски начиная с верхнего. При этом надо следить за тем, чтобы не повредить осадок на поверхности подложки. Нажимные винты 19 должны быть вывернуты настолько, чтобы их торцы располагались заподлицо с внутренней плоской поверхностью накидной гайки 18.

Для проведения анализа пыли с помощью каскадного импактора необходимо выполнить ряд последовательных операций.

Подготовительные работы. К стенке газохода приваривают заранее изготовленный штуцер. Каскадный импактор разбирают с целью взвешивания каждого из дисков вместе с материалом подложки. Перед взвешив-

анием ступеней прибора выемки в дисках заполняют двухфазной смазкой при температуре газа до 100 °С или вырезанным по форме выемок фильтрующим материалом при более высокой температуре. В качестве фильтрующего материала рекомендуется использовать стеклоткань. Если измерение производится повторно и выемки ступеней уже заполнены смазкой или фильтровальным материалом, то необходимо убедиться в отсутствии на поверхности подложки пылевого осадка от предыдущего опыта.

Собранный прибор вместе с газоотсосной трубкой, на которую надевают втулку 13 и рукоятка 14, присоединяют с помощью резинового шланга к пробоотборной установке (см. рис. 1.49), вводят через штуцер на глубину, соответствующую выбранной точке отбора, и выдерживают в течение 15 мин для нагрева до температуры газов. При нагреве прибор устанавливают заборным носиком по ходу газа и фиксируют его положение крепежными винтами штуцера.

Перед отбором пробы рассчитывают диаметр сменного наконечника, показания расхода по шкале реометра и время отбора пробы.

Проведение отбора пробы. Перед началом просасывания газа заборный носик прибора направляют навстречу газовому потоку. Для этой цели освобождают крепежные винты штуцера, поворачивают трубку с помощью рукоятки на 180°, устанавливают в требуемой точке газохода и вновь закрепляют винты. После этого включают воздушную трубку 5 (см. рис. 1.49), открывают зажим 1 и поджатием байпасной трубки зажимом 4 устанавливают требуемый расход. Последний измеряется с помощью расходомера 3; перепад давления на приборе фиксируется манометром 7.

По истечении расчетного времени отбора пробы полностью открывают зажим 4, закрывают зажим 1 и выключают воздушную трубку. Для извлечения прибора из газохода отворачивают крепежные винты 12, втулки 13 и, придерживая прибор с помощью рукоятки 14, осторожно извлекают его из газохода, следя за тем, чтобы он находился в вертикальном положении носиком вверх. Это положение прибора рекомендуется сохранять в течение всего времени транспортировки и при разборке прибора во избежание переброса пыли с одной ступени на другую. Сразу же после извлечения прибора из газохода отверстие штуцера закрывают глухой пробкой. Шланг с газоотсосной трубки допускается снимать после извлечения прибора из газохода.

Расчет дисперсного состава пробы пыли производится по привесам последней на каждой ступени прибора. Принимая за 100 % суммарную массу осадков на всех ступенях прибора, определяют долю частиц, осевших на каждой ступени. На основании полученных результатов строят кривую дисперсного состава в вероятностно-логарифмической сетке координат по величине проскока (в процентах) и значениям d_{50} каждой ступени. По этой кривой определяют содержание различных фракций пыли в отобранной пробе газа.

Каждой ступени соответствует конкретное значение d_{50} , которое относят к стандартным условиям, т. е. к расходу газа $Q=10$ л/мин и температуре $t=20$ °С; плотность частиц пыли ρ_p предварительно пересчитывают в граммы на кубический сантиметр. Это значение d_{50} , обозначаемое как $d_{50,ст}$, является константой ступени. Величину $d_{50,ст}$ с достаточной точностью можно рассматривать как абсолютную границу разделения частиц на фракции, т. е. как значения диаметров частиц, улавливаемых с эффективностью 100 %. При этом допущении частицы с диаметром менее $d_{50,ст}$ имеют нулевую эффективность улавливания.

Ниже даны значения $d_{50,ст}$ для одной из конструкций прибора, найденные предварительной тарировкой при стандартных условиях и

приведенные к $\rho_n = 1 \text{ г/см}^3$. Данные по значениям $d_{50, \text{ст}}$ ступеней прибора каждого типа содержатся в его паспорте.

№ ступени	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X
Граница разделения, мкм	15	15	12	9	5,5	4,0	3,2	2,4	1,8	1,5

При анализе дисперсного состава пыли в условиях, отличающихся от стандартных, т. е. при других температурах и расходах газа, соответствующее значение d_{50} может быть найдено по номограмме, приведенной на рис. 1.51. В этих случаях для определения d_{50} каждой ступени следует значение $d_{50, \text{ст}}$, отнесенное к стандартным условиям, умножить на коэффициент $\alpha = d_{50}/d_{50, \text{ст}}$.

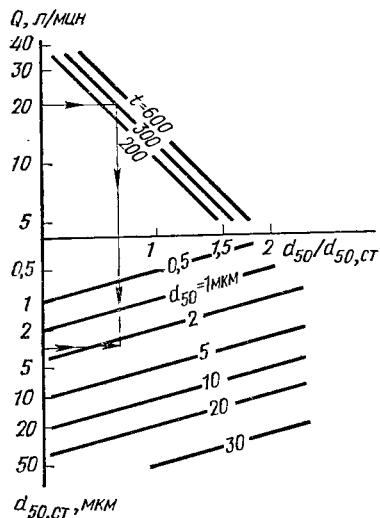


Рис. 1.51. Номограмма для определения границы разделения d_{50} различных ступеней каскадного импактора

$= 3 \text{ мкм}$. Из номограммы видно, что в этом случае искомое значение $d_{50} = 2,5 \text{ мкм}$.

При определении дисперсного состава исследуемой пыли по массе осадков в различных ступенях прибора принимается, что на каждой ступени осаждаются все частицы диаметром, превышающим значение d_{50} для данной ступени.

В соответствии с этим кривую дисперсного состава строят в виде кривой «остатков» в координатах $\xi(d) - \lg d$, где $\xi(d)$ — содержание частиц с диаметром более d . Для каждой из k точек (k — число ступеней) расчет ведут по формуле

$$\xi_n(d) = \sum_{n=1}^n m_n / \sum_{n=1}^k m_n, \quad (1.29)$$

где n — номер ступени, а m_n — масса осадка на n -ной ступени.

РЕЗУЛЬТАТЫ ИЗМЕРЕНИЙ ДИСПЕРСНОГО СОСТАВА ПЫЛИ

Ступень	Привес ступени, мг	Доля осевших частиц, %		Граница разделения d_{50} , мкм
		на данной ступени	на данной и предшествующей ступенях	
I	24,3	11,5	11,5	15
II	15,5			
III	36,5	10,5	22,0	12
IV	27,7	8,0	30,0	9,0
V	86,6	15,1	55,1	5,5
VI	84,3	24,9	80,0	4,0
VII	34,6	10,0	90,0	3,2
VIII	25,9	7,5	97,5	2,4
IX	5,2	1,5	99,0	1,8
X	0,7	1,2	99,2	1,5
Фильтр	2,4	0,8	100	—
Всего:	343,7	100	—	—

При построении кривой «остатков» значения $\xi_n(d)$ откладывают как координаты точек с абсциссами, отвечающими границам разделения в вероятностно-логарифмической сетке координат, в которой по оси абсцисс нанесены значения диаметра частиц в логарифмическом масштабе, а по оси ординат — содержание частиц диаметром более d в вероятностном масштабе.

Пример расчета и построения кривой дисперсного состава приведен в табл. 1.11. Во втором столбце даны привесы десяти ступеней и конечного фильтра каскадного импактора, а в третьем столбце — массовая доля частиц, осевших на каждой из ступеней.

Кривую дисперсного состава (рис. 1.52) строят по точкам, для которых ординатами служат упомянутые значения массовых долей частиц $\xi(d)$, а абсциссами — значения границ разделения d_{50} соответствующих ступеней, указанные в последнем столбце табл. 1.11. Найденные точки соединяют кривой, которая, как правило, может быть достаточно точно аппроксимирована прямой. При соблюдении условий измерения погрешность составляет не более 15 %.

Сведения о дисперсном составе промышленных пылей [23], которые можно использовать при проектировании новых и модернизации существующих аппаратов и системы пылеулавливания, изложены в разделе VIII.

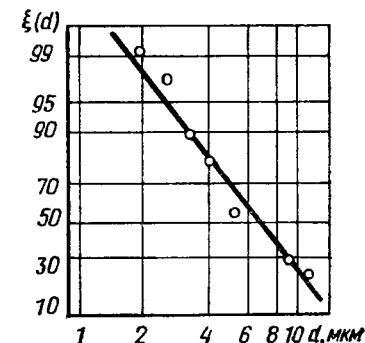


Рис. 1.52. Кривая дисперсного состава пыли

Величина удельного электрического сопротивления слоя пыли (УЭС) на электродах электрофильтра — один из важных факторов, влияющих на эффективность его работы [24, 25].

Существует критическое значение УЭС пыли, при котором степень очистки газов в электрофильтре резко снижается из-за нарушения режима его работы.

Величина УЭС пыли зависит от толщины слоя, дисперсного состава пыли, влажности, температуры и химического состава среды и других факторов [26]. Поэтому представительные значения можно получить при измерении УЭС слоя непосредственно на осадительном электроде электрофильтра или слоя, сформированного при существующих параметрах пылегазового потока непосредственно в газоходе. Из существующих методов этим условиям отвечают два прибора, разработанные в НИИОгазе [20, 27].

Прибор «Циклоном-1» позволяет измерять УЭС слоя пыли, сформированного в газоходе, и удовлетворяет следующим требованиям: простота изготовления и эксплуатации; хорошая воспроизводимость результатов; возможность измерения УЭС пылевого слоя непосредственно в промышленных газоходах в потоках технологических газов с температурой до 250 °С. Этот прибор состоит из малогабаритного высокоэффективного циклона и расположенного в его бункера датчика измерения удельного электрического сопротивления пыли. Измерительная система датчика включает коаксиальные цилиндрические электроды.

Аппаратурное оформление установки для измерения удельного электрического сопротивления пыли показано на рис. 1.53. Крепление «Циклоном-1» к фланцу, при помощи которого прибор устанавливается в газоходе, осуществляют тремя полыми шпильками. Через две из них соединительные провода выводят из газохода, а в третью можно устанавливать термометр или термопару для контроля температуры газовой среды в непосредственной близости к датчику.

Пылегазовый поток поступает в циклон 4 (рис. 1.53, а) через наконечник заборной трубки 2. Пыль, уловленная в циклоне, высыпается в датчик 3. Газы из циклона отсасываются через фильтр 5 воздушной подушкой 7. Ко вторичному прибору (термометру 8) измерительная система подключается проводом с кремнийорганической термостойкой изоляцией марки ПТЛ-250. Для предотвращения загрязнения измерительных проводов пылью и механического повреждения при обтекании прибора пылегазовым потоком предусмотрен защитный металлический кожух 9.

Корпус датчика (рис. 1.53, б) изготовлен из фторопласта-4, имеющего высокое объемное удельное сопротивление, равное 10^{17} Ом·см при температуре 20 °С, и высокое поверхностное электрическое сопротивление, равное 10^{16} Ом·см.

Конструкция прибора позволяет формировать в измерительной части датчика слой пыли способом, исключая деформацию слоя при измерении УЭС методом наложения измерительного электрода на слой пыли; измерять удельное сопротивление пыли, сформированной непосредственно в газоходе, в широком диапазоне температур и в химически агрессивных средах: контролировать температуру пылегазового потока и слоя пыли в зоне расположения датчика; отсчитывать по вторичному прибору непосредственно величину УЭС при соответствующем подборе геометрии измерительных электродов.

Порядок работы с прибором: прибор вводится в газоход и прогревается в течение 10—15 мин. После прогрева проверяется уровень изо-

ляции измерительной системы, который при температуре 200 °С колеблется в пределах 10^{13} — 10^{14} Ом. Прибор подключается к вакуумной линии, и устанавливается расход газа в пределах 15—25 л/мин. При этом достигаются оптимальные эффективность и гидравлическое сопротивление циклона. Время заполнения измерительной системы пылью определяется опытным путем. При испытаниях прибора в промышленных условиях установлено, что при расходе газа около 20 л/мин и запыленности пылегазового потока 5—10 г/м³ время, необходимое для заполнения бункера, составляет 15—20 мин.

По окончании отбора пробы измерительные провода подсоединяются ко вторичному прибору и измеряется электрическое сопротивление слоя пыли между электродами датчика. Для этой цели используют термометр, принцип работы которого заключается в том, что измеряемое сопротивление подсоединяется к известному калиброванному сопротивлению, образуя делитель, питаемый от стабилизированного источника напряжения. В результате деления напряжения при помощи усили-

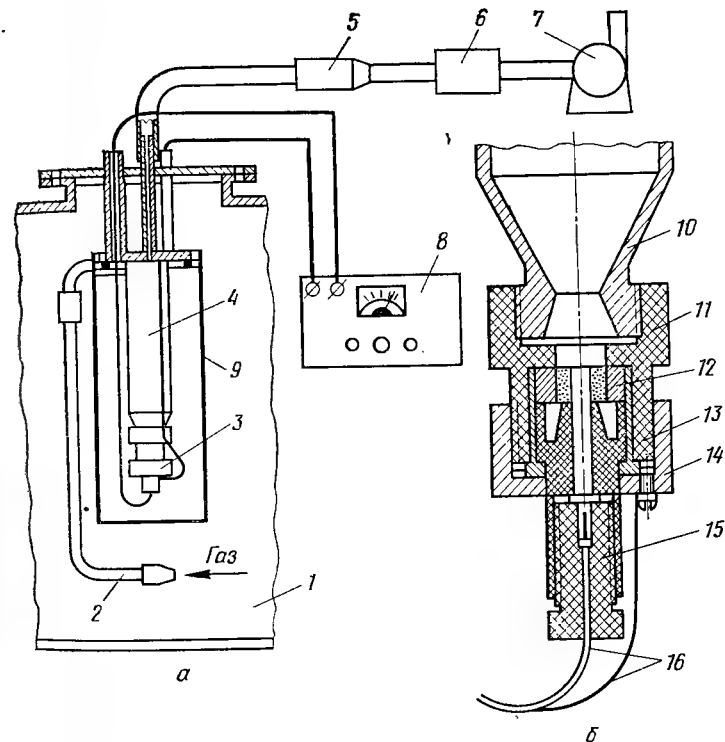


Рис. 1.53. Аппаратурное оформление установки для измерения УЭС пыли прибором «Циклоном-1»:

а — аппаратурное оформление установки; б — измерительная система прибора; 1 — газоход; 2 — заборная трубка; 3 — датчик; 4 — циклон; 5 — фильтр; 6 — реометр; 7 — воздушная подушка; 8 — вторичный прибор (термометр); 9 — корпус; 10 — циклон; 11 — втулка (фторопласт-4); 12 — измерительные электроды; 13 — изолятор (фторопласт-4); 14 — накидная гайка; 15 — защитная пробка со штырем; 16 — измерительные провода

теля и прибора непосредственного отсчета определяется значение измеряемого сопротивления.

В общем случае сопротивление слоя пыли

$$R = \rho h / S,$$

где ρ — удельное электрическое сопротивление, Ом·м; h — высота слоя пыли, м; S — площадь измерительного электрода, м².

Путем выбора геометрических размеров электродов S , r_1 , r_2 это выражение может быть приведено к виду

$$\rho = KR,$$

где r_1 и r_2 — радиусы внутреннего и внешнего измерительных электродов датчика, м; K — коэффициент, учитывающий размеры S , r_1 , r_2 .

При $K=1$ $\rho=R$, т. е. показание тераометра соответствует значению удельного электрического сопротивления пыли.

Прибор ИСП-1 позволяет измерять сопротивление слоя пыли, сформированного в зазоре между измерительными электродами в поле коронного разряда (рис. 1.54).

Отбор пробы золы или пыли для измерения удельного электрического сопротивления осуществляется путем изокINETического отбора газа в измерительную камеру 1, помещенную в газоход, и осаждения частиц в электрическом поле коронного разряда на измерительные электроды 2. ИзокINETичность отбора газа соблюдается при равенстве нулю разности статических напоров внутри канала заборной трубки 13

и в газоходе. Измерение разности статических напоров производится микроманометром.

Отсос газа через измерительную камеру осуществляется эжектором 11, подключенным к линии сжатого воздуха. Давление воздуха перед эжектором, измеряемое манометром 18, должно быть не менее 200 кПа. Скорость отбора газа из газохода, соответствующая нулевому показанию микроманометра, устанавливается с помощью воздушного вентиля 17 эжектора (грубо) и шибера 9 на выходе из камеры (точно) и поддерживается в течение всего времени напыления. Для обеспечения заполнения зазоров пылью и повторяемости результатов измерения толщина слоя пыли на измерительных электродах должна составлять 1—3 мм. Время, необходимое для формирования слоя пыли требуемой толщины, устанавливается предварительным опытом.

Измерительную камеру и эжектор соединяют с линией сжатого воздуха и отводящим патрубком камеры. Двумя резиновыми шлангами соединяют согласно маркировке штуцера микроманометра и соответствующие импульсные трубки 16 измерительной камеры. В течение 30 мин дают прогреться измерительной камере с установленными в ней измерительными электродами.

В начале опытов измеряют сопротивление изоляции между измерительными электродами 2, которое должно быть не менее чем на два порядка выше сопротивления пыли. При несоблюдении этого условия поверхность изоляторов 4 тщательно протирают спиртом.

Шибера 9 на входе в камеру и на выходе из нее устанавливают в положение «Открыто». На эжектор подают сжатый воздух и устанавливают нужную скорость отбора газа. С помощью высоковольтного кабеля источник высокого напряжения подключают к измерительным клеммам 3, а к клемме коронирующего электрода 7 — схему измерения тока коронного разряда. Измерительные клеммы для предохранения от случайного прикосновения накрывают экраном 8. Источник высокого напряжения и схема измерения должны быть надежно соединены с заземляющим проводом. После этого включают источник и устанавливают напряжение, соответствующее току коронного разряда 10—20 мкА (в промежутках времени между измерениями тока короны измерительный прибор должен быть зашунтирован тумблером Ш).

Оптимальная высота слоя пыли на измерительных электродах составляет 1—3 мм. Время, необходимое для формирования слоя пыли, ориентировочно определяют, исходя из следующих данных:

Запыленность газа, г/м ³	5—10	15—25	30—60
Время формирования слоя, мин	30	15	10

По истечении времени напыления измерительных электродов вентиль закрывают, шибера 9 устанавливают в положение «Закрыто»; выключают источник высокого напряжения, убирают экран, снимают остаточный заряд путем прикосновения заземляющего провода к измерительным клеммам и отключают высоковольтный кабель. Экранированными проводами подключают измерительные клеммы к тераометру; на время измерения клеммы закрывают экраном, после чего измеряют сопротивление слоя частиц пыли.

Удельное электрическое сопротивление пробы золы или пыли (Ом·м) вычисляют по формуле

$$\rho = RS/b,$$

где R — сопротивление слоя частиц, замеренное между клеммами измерительных электродов, Ом; S — площадь измерительных электродов,

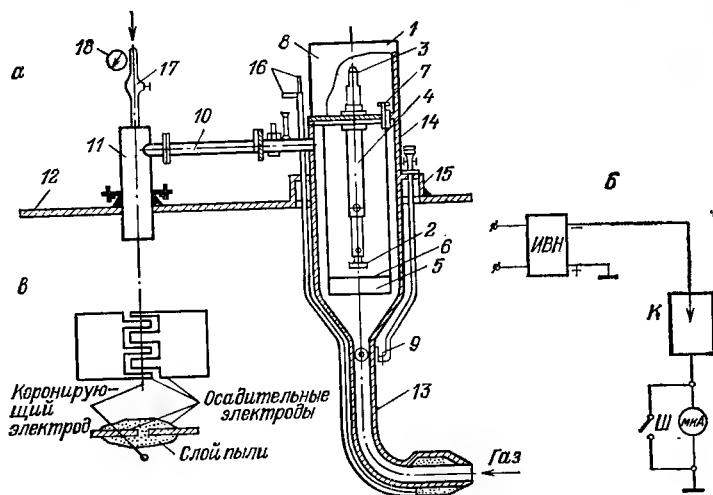


Рис. 1.54. Прибор для измерения удельного электрического сопротивления ИСП-1:

а — конструкция прибора; б — схема электрических соединений; в — схема измерительного устройства прибора; 1 — измерительная камера; 2 — измерительные электроды; 3 — измерительные клеммы; 4 — изоляторы; 5 — рама коронирующего электрода; 6 — коронирующий электрод; 7 — клемма коронирующего электрода; 8 — экран; 9 — шибера; 10 — стенка газохода; 11 — эжектор; 12 — манометр; 13 — заборная трубка; 14 — тяга шибера; 15 — фланец; 16 — импульсная трубка; 17 — вентиль; 18 — манометр; ИВН — источник высокого напряжения; К — камера устройства; МКА — микроамперметр; Ш — шунтирующий тумблер

m^2 ; b — зазор между измерительными электродами, м. Площадь измерительных электродов и зазор между ними выбраны так, что отношение $S/b=0,05$, в результате чего расчетная формула приобретает вид

$$\rho = 0,05R.$$

Для определения удельного электрического сопротивления пыли проводят десять опытов. Затем вычисляют среднее арифметическое значение

$$\rho_{\text{ср}} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \rho_i$$

и среднеквадратическое отклонение величин ρ_i от их среднего значения:

$$\sigma = \sqrt{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (\rho_i - \rho_{\text{ср}})^2},$$

где ρ_i — результаты измерений; n — число опытов.

При необходимости определения УЭС пылевых слоев в лабораторных условиях можно использовать прибор «Циклоном-1». В этом случае пробой исследуемой пыли заполняется датчик измерительной системы прибора. Значения удельного электрического сопротивления промышленных пылей приведены в гл. 8. Методы определения других свойств пылей изложены в [3].

Глава 2 ИНЕРЦИОННЫЕ ПЫЛЕУЛОВИТЕЛИ

2.1. КЛАССИФИКАЦИЯ АППАРАТОВ

Простейшим методом удаления твердых частиц из газопылевого потока является их осаждение под действием силы тяжести. Собственно на этом принципе работают все аппараты сухого инерционного обеспыливания газов: пылесадительные камеры, жалюзийные аппараты, циклоны различных модификаций, дымососы-пылеуловители и др.

Действие инерционных пылеуловителей основано на резком изменении направления движения газопылевого потока. Частицы по инерции движутся в первоначальном направлении и попадают в сборный бункер, а очищенный от крупных частиц пылегазовый поток выходит из пылеуловителя.

Инерционные пылеуловители сложнее по конструкции, чем пылевые камеры, но имеют ряд существенных преимуществ перед последними: малые габариты, возможность улавливания частиц размером до 20 мкм. Из всей разновидности инерционных аппаратов наибольшее распространение имеют циклоны, характеризующиеся относительно высокой степенью очистки при умеренных значениях газодинамического сопротивления. Применение пылесадительных камер и простейших по

конструкции пылеуловителей инерционного типа оправдано лишь для предварительной очистки газов от частиц размером более 100 мкм [22].

Для крупных технологических агрегатов (вращающиеся печи, сушилки, мельницы) пылесадительные камеры поставляются в комплекте с основным технологическим оборудованием.

Жалюзийные аппараты требуют меньших производственных площадей, так как жалюзийную решетку можно встроить в газоход. Однако необходимы дополнительные устройства для осаждения образующегося в них пылевого концентрата. Такие устройства приходится применять и для проточных циклонов, работающих в режиме отсоса части газов из бункера, и др. Все аппараты с дополнительными устройствами для осаждения образующегося в них пылевого концентрата получили название пылеконцентраторы. Как правило, на линии отсоса пылевого концентрата устанавливаются циклоны, иногда рукавные фильтры.

В классе инерционных пылеуловителей батарейные циклоны вследствие простоты конструкции и эксплуатационной надежности являются довольно распространенными аппаратами. В ряде случаев они устанавливаются в качестве самостоятельных пылеуловителей (малые котельные, работающие на высокотемпературном топливе, мусоросжигательные котлы, установки для сжигания отходов переработки нефтепродуктов и др.). Следует отметить, что рабочая температура батарейных циклонов достигает 400 °С; в этом состоит их существенное преимущество перед другими пылеуловителями этого класса.

К группе инерционных пылеуловителей относятся ротационные аппараты, в которых сепарация пыли происходит вследствие вращения ротора. Эти аппараты условно можно разделить на два типа. Аппараты первого типа имеют ротор в виде вентиляционного колеса особой конструкции, который отбрасывает частицы пыли к периферии и одновременно заставляет их двигаться в радиальном направлении к кольцевой щели пылесборной улитки и далее через циклонный элемент или непосредственно в бункер. К числу таких аппаратов относятся, например, карнолисовый пылеотделитель ПВК (изготовитель — Крюковский вентиляторный завод). Отметим, что эффективность ПВК на грубой кварцевой пыли (средний размер частиц >50 мкм) 77 %, тогда как циклон типа ЦН-II при одинаковых условиях обеспечивает степень очистки до 90 %.

Аппараты второго типа имеют ротор с отверстиями, через которые газопылевой поток просасывается в радиальном направлении к оси ротора. Частицы пыли вследствие действия центробежной и карнолисовой сил не могут пройти через отверстия ротора в нейтральную зону аппарата, отбрасываются на периферию и оседают в пылесборном бункере. К таким аппаратам можно отнести центробежные пылеотделители Грищенко, Розенкранца и др., а также дымосос-пылеуловитель конструкции НИИОгаза.

В связи с серийным производством дымососов-пылеуловителей последние получают все большее распространение. Относительно небольшие габариты и низкие энергетические затраты на очистку газов позволяют применять эти аппараты на энергопоездах, асфальтобетонных заводах, малых котельных и др. Отметим, что степень очистки газов дымососом-пылеуловителем от частиц размером <10 мкм ниже, чем у циклонов.

В промышленности встречаются и другие конструкции пылеуловителей этого класса, но они, как правило, изготавливаются самими предприятиями, где эксплуатируются, и серийно не выпускаются.

2.2. ПЫЛЕВЫЕ КАМЕРЫ И ИНЕРЦИОННЫЕ ПЫЛЕУЛОВИТЕЛИ

Пылевые камеры относятся к простейшим устройствам для улавливания крупных сырьевых частиц или пыли. Они действуют по принципу осаждения частиц при медленном движении пылегазового потока через рабочую камеру, поэтому основными размерами камеры являются ее высота и длина (рис. 2.1). Геометрические размеры определяют время пребывания пылегазового потока в камере.

Даже самые совершенные по конструкции пылесадительные камеры занимают много места, а поэтому в качестве самостоятельных элементов пылеулавливающей системы находят ограниченное применение.

Однако упрощенные варианты пылевых камер применяются в качестве элементов основного технологического оборудования. Так, холодильные головки вращающихся печей и сушильных барабанов снабжаются пылевыми камерами, позволяющими улавливать грубые частицы, что предотвращает осаждение этих частиц в соединительных газоходах и разгружает высокоэффективные пылеуловители — рукавные фильтры, электро-

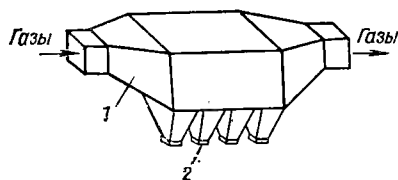


Рис. 2.1. Пылесадительная камера:
1 — корпус; 2 — пылеотводящий бункер

Камеры изготавливают из кирпича, железобетона или стали. Расчет пылевой камеры сводится к определению площади осаждения, т. е. площади дна камеры и ее стенок. При этом принимают ряд допущений: пыль равномерно распределяется по сечению камеры как по концентрации, так и по дисперсности; она состоит из шаровых частиц и полностью подчиняется закону Стокса; скорость газа по сечению камеры принимается равномерной; результат действия конвекционных токов и турбулентности газового потока на частицы пыли равен нулю; осевшая пыль не уносится из камеры.

Для частиц размерами < 80 мкм удовлетворительное значение конечной скорости оседания можно получить по закону Стокса. Ниже приведены скорости оседания сферических частиц, рассчитанные по этому закону [22].

Диаметр частиц, мкм	Скорость оседания, см/с	
	по эксперименталь- ным данным	рассчитанная по закону Стокса
0,1	$8,7 \cdot 10^{-5}$	$8,71 \cdot 10^{-5}$
0,2	$2,3 \cdot 10^{-4}$	$2,27 \cdot 10^{-4}$
0,4	$6,8 \cdot 10^{-4}$	$6,85 \cdot 10^{-4}$
1,0	$3,5 \cdot 10^{-3}$	$3,49 \cdot 10^{-3}$
2,0	$1,19 \cdot 10^{-2}$	$1,19 \cdot 10^{-2}$
4,0	$5,10 \cdot 10^{-2}$	$5,0 \cdot 10^{-2}$
10,0	$3,06 \cdot 10^{-1}$	$3,06 \cdot 10^{-1}$
20,0	1,2	1,2
40,0	4,8	5,0
100,0	24,6	25,0
400,0	157,0	483,0
1000,0	382,0	3050,0

Как следует из приведенных данных, закон Стокса дает хорошее совпадение с экспериментом вплоть до диаметра частиц, равного 100 мкм.

При проектировании осадительных камер необходимо также иметь в виду возможность вторичного уноса. Требуется, чтобы скорость газового потока была не более 3 м/с.

Ниже приведены рекомендации по выбору максимально допустимой скорости газов в осадительных камерах.

Пыль	Плотность частиц, кг/м ³	Среднеме- данный размер частиц, мкм	Максимально допустимая скорость газов, м/с
Алюминиевая стружка	2720	335	4,3
Асбест	2200	261	5,0
Известняк	2780	71	6,4
Крашмал	1270	64	1,75
Неметаллическая пыль из плавиль- ных печей	3020	117	5,6
Оксид свинца . .	8260	14,7	7,6
Стальная дробь .	6850	96	4,7
Деревянная стружка	1180	1370	4,0
Деревянные опил- ки	—	1400	6,6

Ясно, что при выборе скорости необходимо учитывать свойства материала. Например, крахмал или сажа подхватываются при очень малых скоростях (до 0,8 м/с), тогда как для агрегированных частиц (цемент, кокс) допустимы более высокие скорости. Так, газы вращающейся печи для обжига доломита, проходя через пылевую камеру объемом 3200 м³ (длина 29,8, ширина 18, высота 6 м) со скоростью 1,4 м/с и находясь в камере около 20 с, очищались от пыли на 40 % [2, 28].

Размеры полых пылесадочных камер определяют, исходя из заданного расхода газа L и минимального седиментационного диаметра частицы пыли d_s , которые вместе с более крупными частицами должны выпасть из потока. Соотношение длины l и высоты H камеры находят из соотношения скорости газа v_r и скорости осаждения частицы v_s :

$$v_s/v_r = H/l. \quad (2.1)$$

Ширину камеры b определяют, исходя из принятых в расчете скорости газа v_r , высоты камеры H и заданного расхода газа L :

$$b = L/Hv_r. \quad (2.2)$$

Рассматривая варианты определения скорости (осаждение) витающих частиц, следует отметить, что для практического применения удобна номограмма, представленная на рис. 2.2 [29]. Графическая зависимость построена для воздуха при стандартных условиях для плотности 1 г/см^3 . При других значениях плотности вводится поправка, равная $1/3 \lg \rho_r$; значение этой поправки определяется с помощью вспомогательного графика. Найдя отрезок $1/3 \lg \rho_r$, его откладывают по оси ординат от точки, отвечающей диаметру частицы d_s , в сторону возрастания, если $\rho_r > 1 \text{ г/см}^3$, и в сторону уменьшения, если $\rho_r < 1 \text{ г/см}^3$. По полученной точке, пользуясь номограммой, отмечают соответствующую точку на другой оси координат, от которой откладывают тот же отрезок

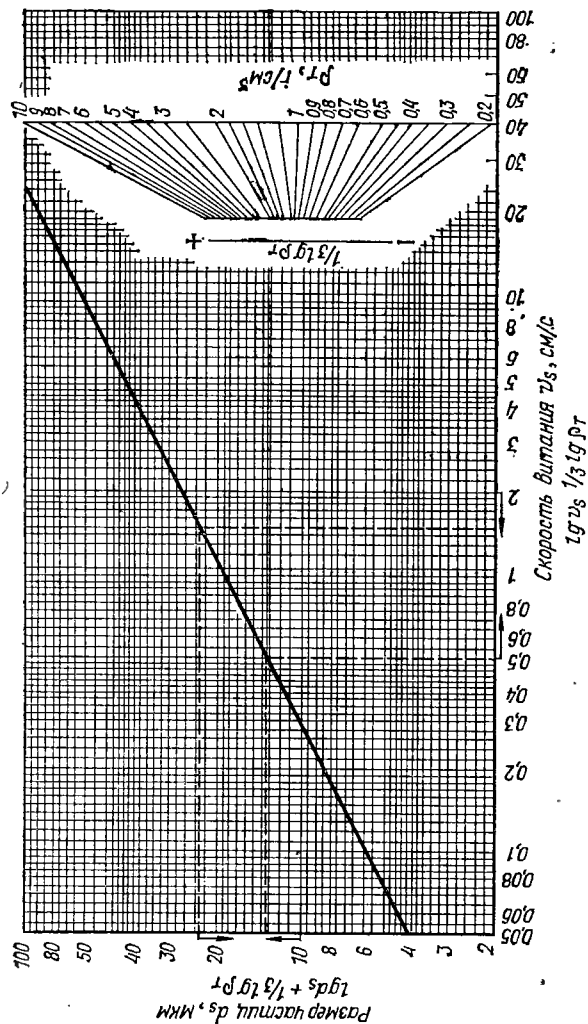


Рис. 2.2. Номограмма зависимости скорости витания частиц v_s , см/с, седиментационного диаметра d_s (мм) и плотности ρ_T , г/см³. Ключ: $\lg d_s + \frac{1}{3} \lg \rho_T = \lg v_s - \frac{1}{3} \lg \rho_T$ + $\frac{1}{3} \lg \rho_T$

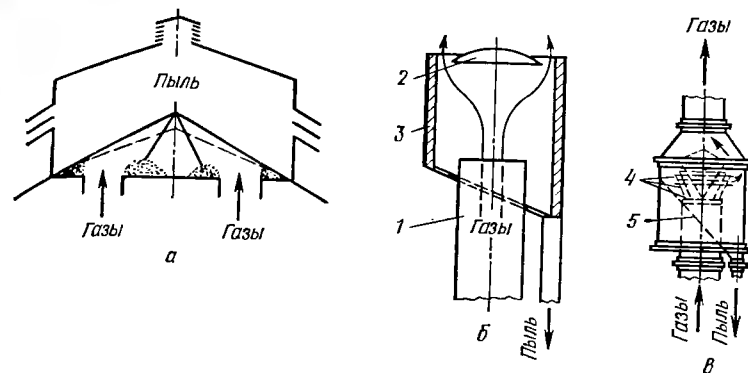


рис. 2.3. Вертикальные пылеосадительные камеры:

а — без отвода пыли; б и в — с отводом пыли; 1 — газосод; 2 — отражательный диск; 3 — огнеупорное покрытие; 4 — отражательные конусы; 5 — наклонная плита

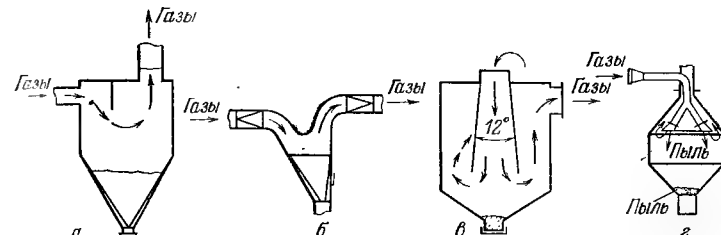


Рис. 2.4. Инерционные пылеуловители:

а — камера с перегородкой; б — камера с плавным поворотом газового потока; в — камера с расширяющимся конусом; г — камера с заглубленным бункером

$\frac{1}{3} \rho_T$, и находят скорость v_s . Ясно, что если $\rho_T > 1$ г/см³, то скорость v_s возрастает, если $\rho_T < 1$ г/см³, то уменьшается.

Из соотношения (2.1) видно, что чем меньше скорость потока и высота камеры, тем меньше скорость осаждения частиц. Заметное снижение скорости осаждения можно получить в полочной камере, отличительной особенностью которой является наличие в активной зоне наклонных полок; по оси камеры располагается шнек для выгрузки осевшей пыли. Для повышения эффективности регенерации полок от пыли применяют вибраторы или другие встряхивающие устройства.

Эффективность работы пылеосадительной камеры в значительной степени зависит от того, насколько равномерно раздача потока. Для этой цели камеры оборудуют газораспределительными решетками или применяют диффузоры с рассечками.

В вертикальных пылеосадительных камерах улавливаются частицы со скоростью оседания выше скорости пылегазового потока. Эти аппараты применяются для улавливания крупных частиц из газов небольших вагранок (рис. 2.3, а); более сложными являются камеры дефлекторного типа, в которых пыль собирается в кольцевом коллекторе, окружающем дымовую трубу (рис. 2.3).

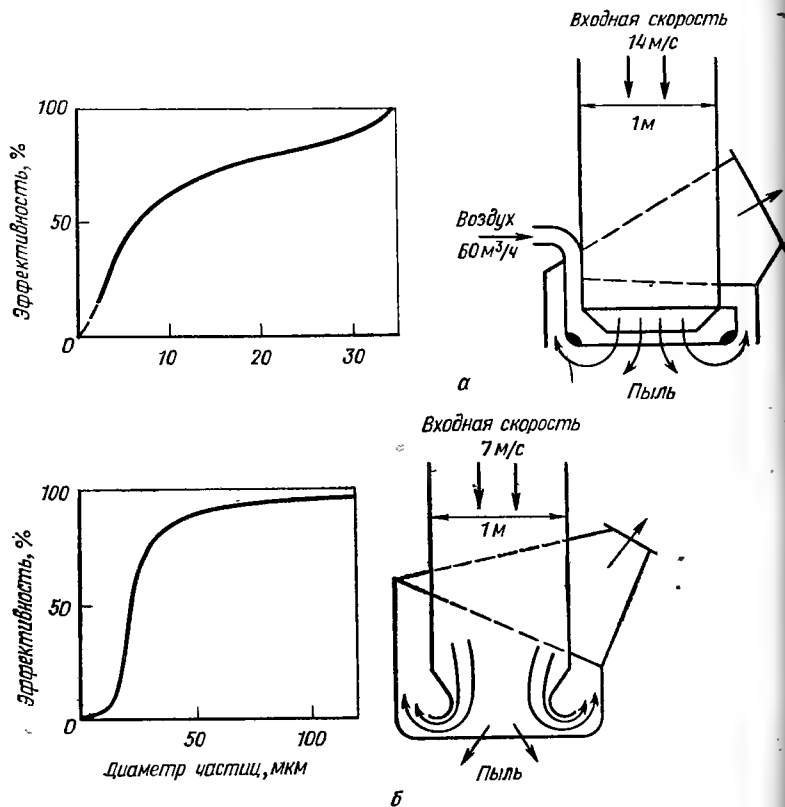


Рис. 2.5. Схема и кривые фракционной эффективности инерционных пылеуловителей:

а — при входной скорости 14 м/с; б — при 7 м/с

Инерционные пылеуловители. Эффективность обеспыливания в простой пылесадительной камере может быть увеличена, а габариты ее уменьшены, если к эффекту гравитационного осаждения частиц придать дополнительный момент движения вниз. Этот принцип положен в основу многих конструкций пылеуловителей.

Типичным представителем этого класса пылеуловителей являются «пылевые мешки» (рис. 2.4, а), которые нашли применение в металлургии. В таком аппарате входящая цилиндрическая труба придает частицам дополнительно к гравитационной силе момент, равный примерно $g/3$. Например, такой пылеуловитель, установленный за доменной печью, обеспечивает степень улавливания частиц >30 мкм до 65—80 %.

Инерционный пылеуловитель, показанный на рис. 2.4, б, встраивается в газоходы diam. >2 м. Выпадение крупных частиц в бункер происходит вследствие отклонения потока от прямолинейного движения.

В современных конструкциях инерционных пылеуловителей механизм осаждения частиц основан на изменении направления движения. Пылегазовый поток проходит вертикально вниз по цилиндрическому

газоходу, затем изменяет направление движения на 180° и проходит через кольцевой зазор; уловленная пыль сыпается в бункер. Эффект пылеулавливания в значительной степени зависит от правильно подобранного кольцевого зазора.

С целью повышения эффективности этих аппаратов предложены различные конструкции узлов (рис. 2.5). В одной конструкции в кольцевой зазор подается воздух (с вращательным моментом движения) со скоростью, в два раза большей, чем осевая скорость основного потока. Дополнительно подаваемый воздух, вступая в контакт с основным потоком, придает последнему вращательное движение. Выходной газосход служит для отвода очищенного потока; в нем часть кинетической энергии переходит в энергию давления.

В другой, менее эффективной, но более простой конструкции часть отходящих газов отсасывается через щели в кольцевой муфте без дополнительной подачи воздуха. Как видно из рис. 2.5, фракционная эффективность этих пылеуловителей позволяет применять их в качестве самостоятельных аппаратов вместо, например, циклонов.

На рис. 2.6 показан пылеуловитель этого класса сложной конструкции. Здесь пылегазовый поток проходит через каналы 1, имеющие форму труб Вентури. Эти каналы образуются вследствие установки в газовом тракте V-образных перегородок 2. Возрастающие скорости в горловине труб Вентури приводят к концентрации частиц у стенок перегородок, установленных на выходе из каналов. Часть газов с высокой концентрацией пыли проходит через щелевые отверстия 3 и затем удаляется вверх через каналы, образованные двумя V-образными перегородками. Пыль осажается в бункере 4. Обычно устанавливается от 6 до 12 рядов перегородок; заслонки 5 регулируют количество газов, отводимых через образованные перегородками каналы, выполняя роль клапанов.

На рис. 2.7 показан другой тип экранного инерционного пылеуло-

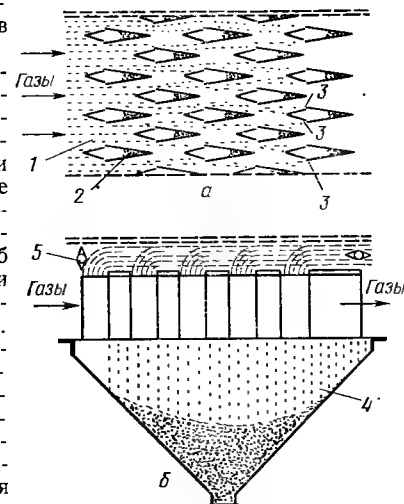


Рис. 2.6. Инерционный пылеуловитель с V-образными отражательными перегородками:

а — вид сверху; б — вид спереди; 1 — каналы; 2 — перегородки; 3 — щелевые отверстия; 4 — бункер; 5 — заслонка

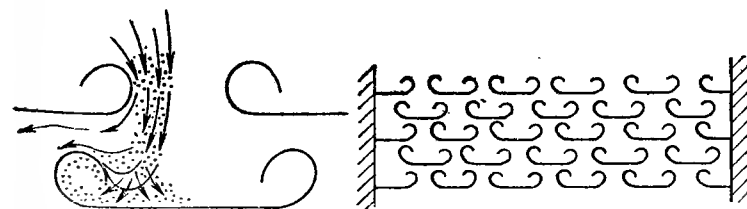


Рис. 2.7. Экранный инерционный пылеуловитель

вителя с низким гидравлическим сопротивлением. Основным элементом аппарата является V-образный профиль, где струи пылегазового потока, образованные в промежутках между этими профилями, сталкиваются с подложкой V-образного элемента. Поток либо отталкивается от подложки, либо движется по кругу вдоль кривой, составляющей элемент. При столкновении и круговом движении пыль отделяется от потока и попадает в бункер. Характерной особенностью этого аппарата является возможность его использования при высоких рабочих температурах и агрессивных средах [22].

2.3. ЦИКЛОНЫ

Циклонные аппараты вследствие дешевизны и простоты устройства и эксплуатации, относительно небольшого сопротивления и высокой производительности являются наиболее распространенным типом механического пылеуловителя. Циклонные пылеуловители имеют следующие преимущества перед другими аппаратами: отсутствие движущихся частей; надежная работа при температуре до 500 °С без конструктивных изменений; пыль улавливается в сухом виде; возможность улавливания абразивных пылей, для чего активные поверхности циклонов покрываются специальными материалами; возможность работы циклонов при высоких давлениях; стабильная величина гидравлического сопротивления; простота изготовления и возможность ремонта; повышение концентрации пыли не приводит к снижению фракционной эффективности аппарата. К недостаткам можно отнести высокое гидравлическое сопротивление, достигающее 1250—1500 Па, и низкую эффективность при улавливании частиц размером <5 мкм.

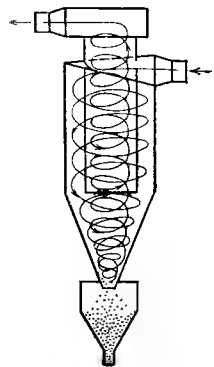


Рис. 2.8. Схема работы циклона

Работа циклона основана на использовании центробежных сил, возникающих при вращении газопылевого потока внутри корпуса аппарата. Вращение достигается путем тангенциального ввода потока в циклон. В результате действия центробежных сил частицы пыли, взвешенные в потоке, отбрасываются на стенки корпуса и выпадают из потока. Чистый газ, продолжая вращаться, совершает поворот на 180° и выходит из циклона через расположенную по оси выхлопную трубу (рис. 2.8). Частицы пыли, достигшие стенок корпуса, под действием перемещающегося в осевом направлении потока и сил тяжести движутся по направлению к выходному отверстию корпуса и выводятся из циклона. Ввиду того что решающим фактором, обуславливающим движение пыли, являются аэродинамические силы, а не силы тяжести, циклоны можно располагать наклонно и даже горизонтально. На практике из-за компоновочных решений, а также для размещения пылетранспортных систем циклоны, как правило, устанавливают в вертикальном положении.

При движении во вращающемся криволинейном потоке газа частица пыли находится под действием силы тяжести, центробежной силы и силы сопротивления. Масса частицы обычно настолько мала, что ею пренебрегают, поэтому скорость частиц в циклоне без большой ошибки можно принять равной скорости вращения газопылевого потока.

Область циклонного процесса, или зона улавливания пыли, расположена между концом выхлопной трубы и пылеотводящим отверстием циклона. Часть этой зоны занимает конусный гатрубок, в нем оканчивается циклонный вихрь. В цилиндрическом циклоне (без конусного гатрубка) циклонный вихрь опирается на пылевой слой в бункере аппарата. При этом частицы вторично уносятся из бункера, т. е. происходит явление, аналогичное действию атмосферных вихрей на предметы, находящиеся на поверхности земли. Вторичный унос частиц возникает и тогда, когда выбран чрезмерно большой угол конусности нижнего гатрубка циклона.

Бункер участвует в аэродинамике циклонного процесса, поэтому использование циклонов без бункера или с уменьшенным по сравнению с рекомендуемыми размерами бункером снижает к.п.д. аппаратов. Существенное влияние на циклонный процесс оказывает турбулентность, которая во многом определяет степень очистки. Поток, поступающий в выхлопную трубу, продолжает интенсивно вращаться. Затухание этого вращательного движения, связанное с невосполнимыми потерями энергии, происходит сравнительно медленно.

Для устранения вращательного движения на выходе из циклона и уменьшения гидравлических потерь иногда применяют специальные устройства, например раскручиватели. Однако практический опыт показывает, что эти устройства снижают эффективность циклонов при улавливании мелкодисперсной пыли [28].

Хотя первые циклоны появились в промышленности более 100 лет назад, работы по улучшению их конструкции и повышению эффективности продолжают.

В СССР применяется более 20 типов циклонов. Для унификации циклонов во ВНИИОТе (г. Ленинград) были проведены сравнительные испытания ряда циклонов по единой методике, одобренной Госстроем СССР [29]. На основании результатов испытаний (рис. 2.9) Госстрой СССР включил в унифицированный ряд пылеулавливающего оборудования циклон типа ЦН-11 как наиболее эффективный и удобный для компоновки в группы. Типовые чертежи циклона ЦН-11, разработанные в институте «Проектпромвентиляция», высылает Центральный институт типового проектирования (г. Тбилиси). Циклоны типа ЦН-15, конструкций СИОТа и ВЦНИИОТа по степени очистки равноценны и несколько уступают аппаратам типа ЦН-11. Но диаметр циклона ЦН-15 на 10 % меньше, что дает определенные преимущества при компоновке в группы. Циклон конструкции СИОТ по высоте меньше циклона типа ЦН-11 почти на 30 %, но больше по диаметру на 17 %. Высокую эффективность показал циклон Т-4/630, однако по сравнению с ЦН-11 его масса почти в 2 раза, а высота в 1,5 раза больше, что не позволяет рекомендовать его в качестве унифицированного аппарата. При отсутствии особых условий рекомендуемая к применению номенклатура циклонов может быть ограничена цилиндрическими и коническими аппаратами [30].

Циклоны конструкции НИИОгаза (цилиндрические и конические) получили широкое распространение. К цилиндрическим (рис. 2.10) относятся циклоны типа ЦН-11, ЦН-15; ЦН-15У и ЦН-24. Характерными особенностями аппаратов этой группы являются: наличие удлиненной цилиндрической части; угол наклона крышки и входного гатрубка равен соответственно 11, 15 и 24° и одинаковое отношение диаметра выхлопной трубы к диаметру циклона, равное 0,59. Циклон типа ЦН-15У имеет меньшую высоту (рис. 2.10 и табл. 2.1).

К коническим (рис. 2.11 и табл. 2.2) относятся циклоны типа СДК-ЦН-33, СК-ЦН-34 и СК-ЦН-22. Они характеризуются длинной конической частью, спиральным входным гатрубком и малым отношением

диаметров выхлопной трубы и корпуса циклонов (соответственно 0,33; 0,34; 0,22). Циклон типа СК-ЦН-22 применяется для улавливания пылей, обладающих повышенной абразивностью или высокой слипаемостью. Потери давления в этом аппарате значительно выше, чем в других конических циклонах.

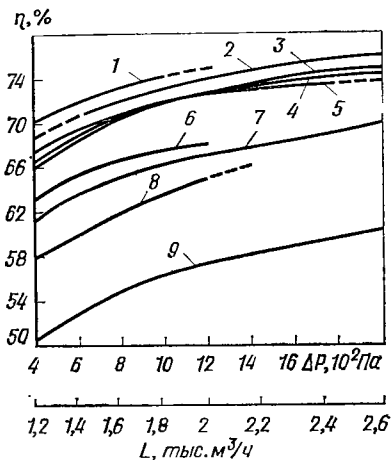


Рис. 2.9. Зависимость степени очистки от гидравлического сопротивления при одинаковой производительности циклонов:

1 — Т-4/630; 2 — ЦН-11; 3 — ЦН-15; 4 — конструкция ВНИИОГа; 5 — конструкция СИОТа; 6 — конструкция ЛИОТа; 7 — ЦН-15У; 8 — ЦН-24; 9 — «Матрешка»

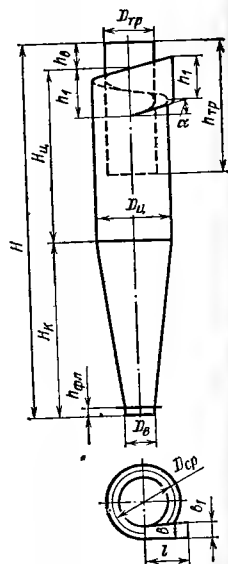


Рис. 2.10. Цилиндрический циклон конструкции НИИОГа

Цилиндрические циклоны относятся к высокопроизводительным аппаратам, а конические — к высокоэффективным. Диаметр цилиндрических циклонов обычно не превышает 2000, а конических 3000 мм. С увеличением диаметра циклона при постоянной тангенциальной скорости потока центробежная сила, действующая на пылевые частицы, уменьшается и эффективность пылеулавливания снижается. Кроме того установка одного высокопроизводительного циклона вызывает затруднения из-за его большой высоты. В связи с этим в технике пылеулавливания широкое применение нашли групповые и батарейные циклоны.

В групповых компоновках по нормам НИИОГа применяются циклоны типа ЦН-15 [31], а по типовым нормам, утвержденным Госстроем СССР, циклоны типа ЦН-11 [32]. Их устанавливают парами с общим числом циклонов 2—8 или вокруг вертикального подводящего газосхода по 10—14 шт. (рис. 2.12).

При определении гидравлического сопротивления групповых установок к коэффициенту сопротивления одиночного циклона, отнесенному к скорости воздушного потока в горизонтальном сечении корпуса, при круговой компоновке следует добавлять 60, при двухрядной с отводом очищенного газа через общую камеру 35, при двухрядной с отводом очищенного газа через улитки 28. Степень очистки в группе циклонов принимается равной степени очистки в одиночном циклоне, входящем

ТАБЛИЦА 2.1
СООТНОШЕНИЕ РАЗМЕРОВ В ДОЛЯХ ВНУТРЕННЕГО ДИАМЕТРА D
ДЛЯ ЦИКЛОНОВ ЦН-11, ЦН-15, ЦН-15У, ЦН-24

Наименование	Тип циклона			
	ЦН-15	ЦН-15У	ЦН-24	ЦН-11
Внутренний диаметр выхлопной трубы d	0,59 для всех типов			
Внутренний диаметр пылевыпускного отверстия d_1	0,3—0,4 для всех типов ¹			
Ширина входного патрубка в циклоне (внутренний размер) b	0,2 для всех типов			
Ширина входного патрубка на входе (внутренний размер) b_1	0,26 для всех типов			
Длина входного патрубка l	0,6 для всех типов			
Диаметр средней линии циклона $D_{ср}$	0,8 для всех типов			
Высота установки фланца $h_{фл}$	0,1 для всех типов			
Угол наклона крышки и входного патрубка циклона α , град	15	15	24	11
Высота входного патрубка a	0,66	0,66	1,11	0,48
Высота выхлопной трубы h_t	1,74	1,5	2,11	1,56
Высота цилиндрической части циклона $H_{ц}$	2,26	1,51	2,11	2,06
Высота конуса циклона H_k	2	1,50	1,75	2,0
Высота внешней части выхлопной трубы h_v	0,3	0,3	0,4	0,3
Общая высота циклона H	4,56	3,31	4,26	4,38

¹ Бóльший размер принимается при малых D и большой запыленности.

в эту же группу, хотя экспериментально это не доказано. Есть некоторые основания предполагать, что она несколько ниже, чем в одиночном циклоне.

Конические циклоны при равных производительностях с цилиндрическими отличаются от последних большими габаритами и поэтому обычно не применяются в групповом исполнении. Для подвода газа к отдельным циклонам при установке их в группу рекомендуется применять коллекторы. Обходные патрубки циклонов присоединяют к коллектору посредством фланцев. Коллектор выполняется из одного или нескольких патрубков, которые с одной стороны подсоединяются к циклонам, а с другой — заканчиваются общей камерой.

Отвод очищенного газа в цик-

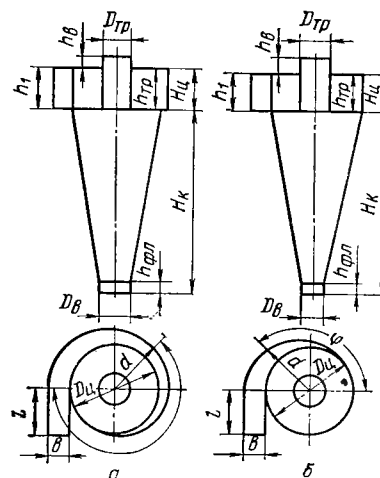


Рис. 2.11. Спирально-конический циклон ЦН

ТАБЛИЦА 2.2

СООТНОШЕНИЕ РАЗМЕРОВ В ДОЛЯХ ДИАМЕТРА D ДЛЯ ЦИКЛОНОВ
ТИПОВ СДК-ЦН-33, СК-ЦН-34, СК-ЦН-34М

Наименование	Типы циклонов		
	СДК-ЦН-33	СК-ЦН-34	СК-ЦН-34М
Внутренний диаметр цилиндрической части D	>3000 мм		>4000 мм
Высота цилиндрической части $H_{ц}$	0,535	0,515	0,4
Высота конической части $H_{к}$	3,0	2,110	2,6
Внутренний диаметр выхлопной трубы d	0,334	0,340	0,22
Внутренний диаметр пылевыпускного отверстия d_1	0,334	0,229	0,18
Ширина входного патрубка b	0,264	0,214	0,18
Высота внешней части выхлопной трубы $h_{в}$	0,2—0,3	0,515	0,3
Высота установки фланца $h_{фл}$	0,1	0,1	0,1
Высота входного патрубка a	0,535	0,2—0,3	0,4
Длина входного патрубка l	0,6	0,6	0,6
Высота заглубления выхлопной трубы $h_{г}$	0,535	0,515	0,4
Радиус улитки r	$D/2 + b\varphi/2\pi$	$D/2 + b\varphi/\pi$	

лонах может осуществляться несколькими способами: с помощью улитки, служащей для преобразования вращательного движения газов в поступательное, колена, общего сборника для группы циклонов или через выхлопную трубу. Сечения выходного отверстия улитки и входного патрубка циклонов следует выполнять одинаковыми.

Группа циклонов снабжается общим бункером для сбора пыли. Диаметр пылевыпускного отверстия бункера подбирают таким, чтобы выпуск уловленной пыли происходил без задержки, а размер фланца соответствовал размеру устанавливаемого под ним пылевого затвора. Угол наклона стенок бункера принимается большим, чем угол естественного откоса пыли; обычно он составляет 55—60°.

В группах циклоны компонуются в два ряда или имеют круговую компоновку в соответствии с рекомендациями, приведенными в табл. 2.3. Рабочие объемы бункеров для групп циклонов рекомендуется принимать по табл. 2.4. Для увеличения срока службы циклонов, подвергающихся абразивному износу, в местах наибольшего износа (в нижней части корпуса, во входной части улитки) рекомендуется приваривать дополнительные листы с наружной стороны стенок аппаратов. Циклоны diam. $<0,8$ м из-за повышенного абразивного износа нельзя применять для улавливания пылей.

Для улавливания пыли, состоящей в основном из крупных частиц, а также при больших концентрациях (после шахтных мельниц, в системах пневмотранспорта и т. д.) в качестве первой ступени очистки мож-

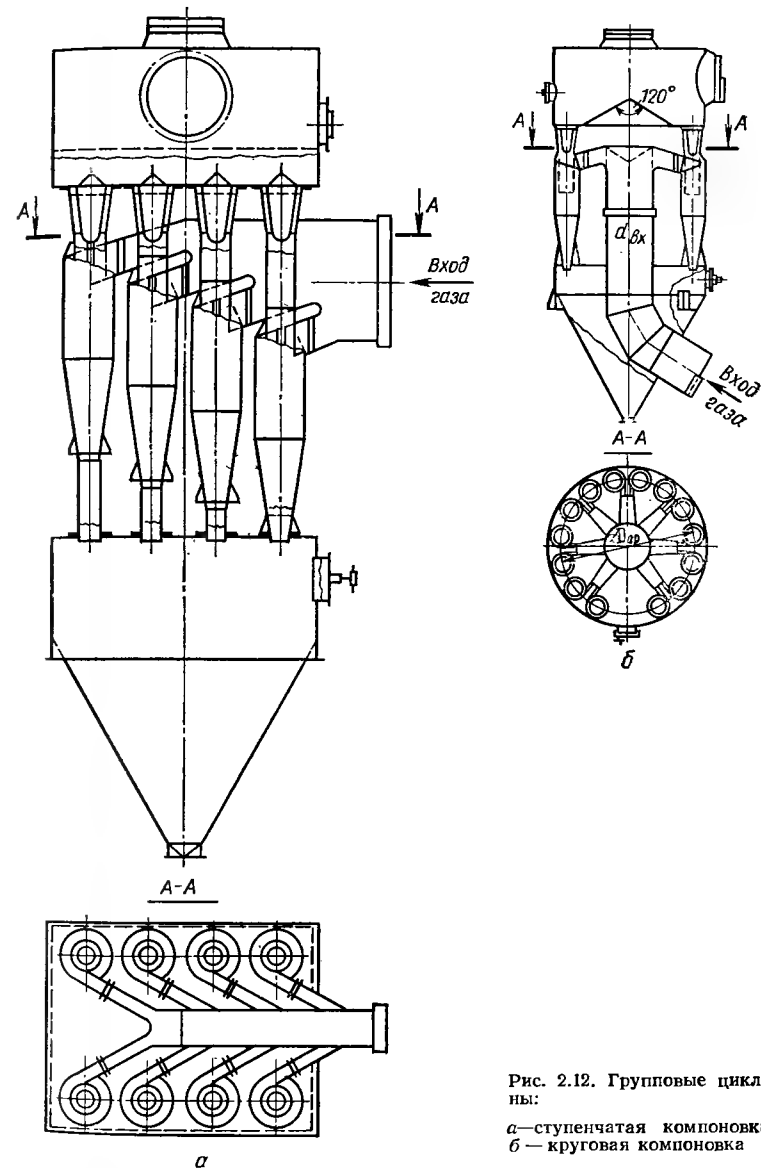


Рис. 2.12. Групповые циклоны:

a — ступенчатая компоновка;
 $б$ — круговая компоновка

но применять высокопроизводительный аппарат типа ЦН-24. У аппаратов этого типа коэффициент гидравлического сопротивления значительно меньше, чем у аппаратов типа ЦН-15, но несколько ниже и степень очистки.

ТАБЛИЦА 2.3

РЕКОМЕНДАЦИИ ПО КОМПОНОВКЕ ЦИКЛОНОВ ТИПА ЦН В ГРУППЫ

Диаметр циклона, мм	Количество циклонов в группе при компоновке						
	прямоугольной				круговой		
	2	4	6	8	10	12	14
200	П	П	П	П	—	—	—
300	О	О	О	О	—	—	—
400	П	П	П	П	—	—	—
500	О	О	О	О	—	—	—
600	П	П	П	П	П	П	П
700	О	О	О	О	—	—	—
800	П	П	П	П	П	П	П
900	П	П	П	П	—	—	—
1000	П	П	П	П	П	П	П
1200	П	П	—	—	—	—	—
1400	П	П	—	—	—	—	—
1600	П	П	—	—	—	—	—
1800	П	П	—	—	—	—	—

Примечание. П — группы, рекомендуемые для преимущественного применения; О — группы ограниченного применения (по возможности не применять).

При необходимости обеспечить повышенную степень очистки (для более эффективного улавливания частиц размером 5—10 мкм) можно устанавливать аппараты типа ЦН-11 с углами наклона крышки и входного патрубка 11°. Согласно ГОСТ 9617—67 для циклонов принят следующий ряд диаметров: 200, 300, 400, 500, 600, 700, 800, 900, 1000, 1200, 1400, 1600, 1800, 2000, 2400 и 3000 мм. Однако для цилиндрических циклонов в одиночном исполнении этот ряд рекомендуется ограничивать значением 2000, а в групповом исполнении 1800 мм.

Кроме того, для ограничения числа типоразмеров групповых циклонов рекомендуется аппараты диам. 300, 500 и 700 мм заменять равноценными по производительности циклонами других диаметров.

Для всех одиночных циклонов бункера выполняются цилиндрической формы. Диаметры бункеров принимаются в соответствии с ГОСТ 9617—67: $D_{\text{бункера}} = 1,5D$ (для цилиндрического циклона); $D_{\text{бункера}} = 1,1 \div 1,2D$ (для конического циклона). Высота цилиндрической части бункера принимается равной $0,8D$, днище бункера выполняется по ГОСТ

ТАБЛИЦА 2.4

РАБОЧИЕ ОБЪЕМЫ БУНКЕРОВ ДЛЯ ГРУПП ЦИКЛОНОВ, м³

Количество циклонов в группе	Диаметры циклонов, мм								
	400	450	500	550	600	650	700	750	800
2	—	—	0,6	0,7	0,9	1,1	1,3	1,6	2,0
3	—	—	—	—	—	2,8	2,9	3,8	4,3
4	0,6	0,7	1,1	1,3	1,6	2,1	2,6	3,3	4,2
6	—	—	2,1	2,9	3,6	4,2	5,7	7,0	7,8
8	—	—	—	—	—	—	—	14,0	15,0

1260—67 с углом стенок 60°. При отсутствии необходимой площади для размещения бункера разрешается уменьшение его до значения $0,8D$ при обязательном сохранении расчетного объема.

В отдельных случаях для снижения гидравлического сопротивления одиночные циклоны типа ЦН-15, ЦН-15У, ЦН-24 снабжаются лопастными раскручивателями. Раскручиватель приваривается к нижней части выхлопной трубы [31].

Группы чаще всего составляют из циклонов основной серии ЦН (типа ЦН-24, ЦН-15У, ЦН-15, ЦН-11). Как правило, группы циклонов имеют общий коллектор грязного газа, общий сборник очищенного газа и общий пылевой бункер. Пылевые бункера циклонных групп могут иметь либо круглую, либо прямоугольную форму. Для групп из двух и четырех циклонов применяются обе формы бункеров, а для групп из шести и восьми циклонов — только прямоугольные. Необходимые объемы пылевых бункеров определяются их назначением. Объем бункера, оборудованного устройствами для непрерывной выгрузки пыли, может быть выбран меньшим, чем объем бункера, предназначенного для накопления и периодической выгрузки пыли. Минимальное расстояние от оси циклона до стенки бункера должно быть не менее $0,4D$, где D — диаметр циклона. Высота прямоугольной (или цилиндрической) части бункера должна быть не менее $0,5D$. Угол наклона стенок бункера к горизонту принимается не менее 60°. Конусы циклонов опускаются в бункер на глубину, равную $0,8$ диаметра отверстия в них. Для уменьшения общей высоты бункера при непрерывной выгрузке пыли допускается устанавливать в одной группе циклонов несколько бункеров.

Рекомендованные в табл. 2.4 рабочие объемы бункеров могут быть использованы для циклонов других типов. Объемы бункеров для групп циклонов типа СК-ЦН-34 без ухудшения аэродинамики циклонного процесса могут приниматься несколько меньшими, чем рекомендованные в табл. 2.4. Но при высокой запыленности газов и малой объемной массе пыли объемы бункеров одиночных и групповых циклонов могут приниматься большими по сравнению с объемами, рекомендованными в табл. 2.4.

Своеобразный смерч (см. рис. 2.8), образующийся в циклоне, пятой опирается о дно пылесборного бункера. При этом в центре смерча винтообразное движение пылегазового потока направлено вверх. Нарушение вращательного движения потока в бункере (в результате уменьшения его высоты или объема и др.) приводит к заметному снижению степени очистки. В частности, поэтому эффективность группового циклона с общим бункером несколько ниже, чем одиночного аппарата.

Влияние аэродинамических процессов, происходящих в бункере циклона, на степень очистки подтверждается результатами испытания двух циклонов, присоединенных к общему бункеру. Два варианта подвода воздуха через тангенциальные патрубки обусловили две разные схемы вращения потоков в бункере (рис. 2.13). Опыт показал, что, когда в зоне взаимодействия вихрей касательные скорости имели одно направление (рис. 2.13, а) и не нарушался основной режим вращения потоков в бункере, степень очистки была выше (не ниже, чем при одиночном циклоне); при неправильной компоновке (рис. 2.13, б) эффективность аппарата снижается. Поэтому установка циклонов без бункеров, с присоединением пылеотводящего отверстия в конусе циклона, например, непосредственно к пылезагрузочному шнеку всегда приводит к ухудшению степени очистки. Когда пылеотводящее отверстие конуса расположено несколько ниже верхней крышки бункера, рекомендуется соединять конус циклона с бункером.

Нарушение вращающегося потока в выхлопной трубе циклона также приводит к снижению интенсивности его вращения в центральной

зоне корпуса. Поэтому вставка на входе в выхлопную трубу выпрямителей воздушного потока в виде звездочки или сот существенно снижает степень очистки. Так, в коническом циклоне diam. 400 мм при входной скорости воздуха 10—15,3 м/с степень очистки от угольной пыли $d_{50}=50$ мкм без звездочки была 90,2—91,7 %, а со звездочкой 85,2—87,7 % [29].

Вращение потока в выхлопной трубе, если не уменьшать на выходе из циклона ее диаметра, продолжается на расстоянии 20 и более калибров. Если же диаметр выхлопной трубы уменьшить, то гидравлическое сопротивление резко возрастает. Поэтому, когда циклон располагается не на конце нагнетающей ветви или устанавливается на всасывающей стороне вентилятора, следует не сужать выхлопную трубу, а предусмат-

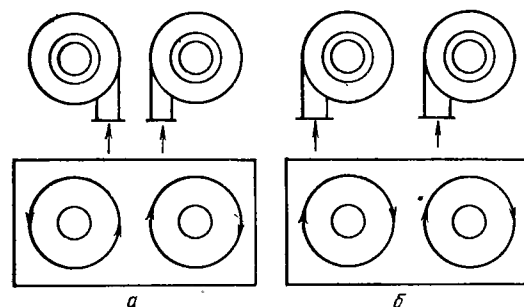


Рис. 2.13. Взаимодействие вихрей в бункере под двумя циклонами:
а — правильная компоновка; б — неправильная компоновка

ривать на ней раскручивающую улитку. Это позволяет, во-первых, иметь постоянное динамическое давление на выходе из системы, его можно учитывать при расчете газоходов и, во-вторых, равномерность распределения поля скоростей дает возможность проводить пылегазовые измерения непосредственно за улиткой.

В технической характеристике циклонов типа ЦН-15 [31] приведены производительности, отнесенные к скорости в цилиндрической части циклона, 2,5 и 3,5 м/с; в обычных условиях оптимальной считается скорость 3,5 м/с. Скорость 2,5 м/с рекомендуется принимать при улавливании абразивной пыли.

Условное обозначение типоразмеров одиночного и группового циклона: ЦН — циклон конструкции НИИОгаза; 15 — угол наклона оси входного патрубка относительно горизонтали (град); П (Л) — «правое» («левое») вращение газа в «улитке»; число после тире — внутренний диаметр цилиндрической части циклона (мм); следующая цифра — количество циклонов в группе; У — с камерой очищенного газа в виде сборника; П — пирамидальная форма бункера. Например ЦН-15П-600П и ЦН-15Л-600×2УП. Циклоны типа ЦН-15 изготавливают в соответствии с ОСТ 26-14-1385—75 и ОСТ 26-14-1268—75; конструкционный материал — углеродистая сталь.

Циклон типа СК-ЦН-34 разработан для очистки газов от такого трудноулавливаемого продукта, как сажа. Циклоны этого типа характеризуются большей, чем обычные циклоны, эффективностью, достигается за счет увеличения гидравлических потерь в результате сужения сечений входного и выходного отверстий (рис. 2.14). Циклоны изготов-

ляют одиночными с диаметром цилиндрической части от 600 до 3600 мм, с «левым» и «правым» вращением пылегазового потока.

Аппараты бывают в следующем исполнении: с бункером и подогревателем; с бункером без подогревателя.

Условное обозначение типоразмера циклона: СК — спиральный конический; ЦН — циклон конструкции НИИОгаза; 34 — отношение диаметра выхлопной трубы к диаметру цилиндрической части (равно 0,34); БП — с бункером и подогревателем; Б — с бункером без подогревателя (при отсутствии Б или БП — без бункера и подогревателя); последнее число — диаметр цилиндрической части циклона (мм); П или Л — «правое» или «левое» вращение пылегазового потока. Например, СК-ЦН-34БП-6000Л, СК-ЦН-34-600П.

Циклон типа СК-ЦН-34 имеет следующие технические характеристики:

Допустимая концентрация пыли в газе, г/м³	1000
Температура очищаемого газа, °С	<250
Максимальное давление (разрежение), кПа	15
Коэффициент гидравлического сопротивления	1150
Параметры пара в подогревателе:	
давление, МПа	5·10—1
температура, °С	150
Эффективность очистки (от пыли $d_m=10$ мкм, $\rho=2,7$ кг/м³), %	До 95

Ниже приведен типоразмерный ряд циклонов СК-ЦН-34 «левого» и «правого» вращения с бункером и подогревателем.

Типоразмер	Производительность, м³/ч, при скорости $w=2,5$ м/с	Объем бункера, м³	Масса, кг
СК-ЦН-34БП-600	2540	0,16	205
СК-ЦН-34БП-800	4520	0,16	270
СК-ЦН-34БП-1000	7100	0,45	505
СК-ЦН-34БП-1200	10 200	0,45	620
СК-ЦН-34БП-1600	18 100	1,30	1420
СК-ЦН-34БП-1800	23 000	1,30	1700
СК-ЦН-34БП-2200	34 200	1,75	3130
СК-ЦН-34БП-2800	55 400	3,40	8854
СК-ЦН-34БП-3600	92 000	4,40	10 300

В случае применения циклонов СК-ЦН-34 diam. <800 мм для слипающихся пылей следует диаметр пылевыводящего отверстия циклона увеличивать, сохраняя его прежнюю конусность. В этом случае $d_1=0,35D$, $H_{кор}=1,8D$.

Циклоны типа СК-ЦН-34 изготавливают в соответствии с ОСТ 26-02-759—73; конструкционный материал: хромоникелевая сталь («улитка», коническая часть циклона и бункера); углеродистая сталь (остальные элементы).

Циклоны Крейзеля применяют в основном для очистки газов после вращающихся печей при обжиге извести, в цементной промышленности и др. Характерной особенностью их конструкции является полый конус с отверстием в вершине, установленный в нижней части корпуса. Между корпусом циклона и конусом имеется кольцевая щель шириной 4,5 мм, предусмотренная для спуска в бункер уловленной пыли. Бункер является неотъемлемой частью циклона (рис. 2.15).

Эти циклоны характеризуются большей, чем циклоны типа ЦН-15 и ЦН-24, производительностью одиночного аппарата при достаточно высокой эффективности.

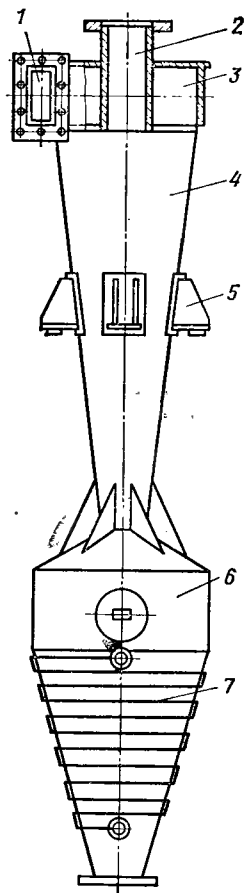


Рис. 2.14. Циклон типа СК-ЦН-34:

1 — входной патрубок; 2 — выходной патрубок; 3 — улитка; 4 — конус; 5 — опорные стойки; 6 — бункер; 7 — подогреватель

При увеличении условной скорости газа в циклоне его гидравлическое сопротивление возрастает (рис. 2.16). Поэтому для уменьшения сопротивления циклонов при большой их производительности и высокой степени очистки рекомендуется увеличивать высоту входного патрубка и входной спирали аппарата в 1,5 раза [2]. Оптимальный режим работы

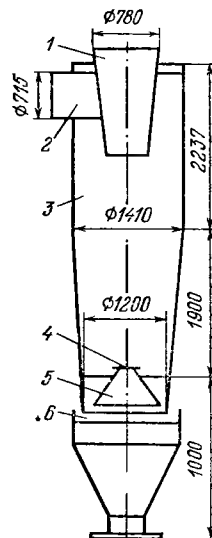


Рис. 2.15. Циклон Крейзеля:

1 — выхлопная труба; 2 — входной патрубок; 3 — цилиндрическая часть циклона; 4 — отверстие для газа; 5 — полый конус; 6 — кольцевая щель для спуска пыли

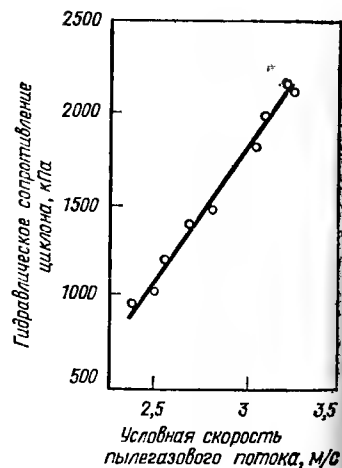
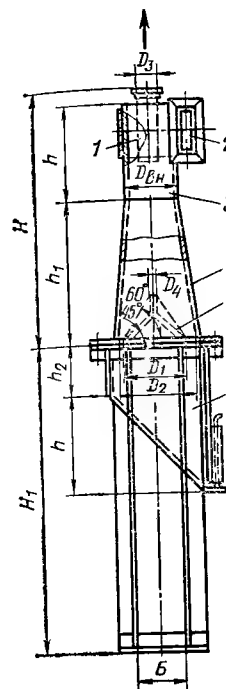


Рис. 2.16. Зависимость сопротивления циклона от его производительности



циклонов Крейзеля достигается при условной скорости газа 2,5—3,0 м/с. При этом эффективность аппарата составляет 80—85 %.

Циклоны Крейзеля рекомендуется устанавливать после сушильных барабанов, дробилок известняка, в качестве первой ступени при обеспыливании вентиляционного воздуха.

Циклоны конструкции ВЦНИИОТа (рис. 2.17, табл. 2.5) с расширяющимся конусом применяются для улавливания сухой неслипающейся, неволокнистой и абразивной, а также слабослипающейся (сажа, тальк) пыли. Характерной особенностью этого циклона является способ транспортировки отсепарированной пыли из корпуса в сборный бункер. Пылегазовый поток проходит в бункер через кольцевую щель, образованную двумя соосными конусными поверхностями. Обеспыленный поток возвращается обратно в корпус циклона через центральное отверстие внутреннего конуса. Такая конструкция отвода пыли в бункер позволяет применять аппарат для улавливания пылей с повышенными абразивными свойствами [32].

Циклон конструкции Гипродревпрома типа

Рис. 2.17. Циклон конструкции ВЦНИИОТа:

1 — входной патрубок; 2 — выхлопная труба; 3 — корпус; 4 — внутренний конус; 5 — камера пылесборника; 6 — кольцевая щель

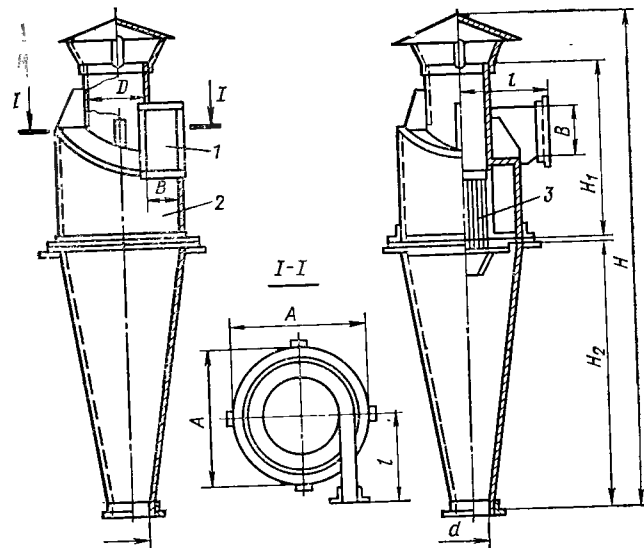


Рис. 2.18. Циклон конструкции Гипродревпрома типа Ц:

1 — входной патрубок; 2 — корпус; 3 — сепаратор

ТАБЛИЦА 2.5

УСТАНОВКА ЦИКЛОНА КОНСТРУКЦИИ ВДНИИОТа

Номер циклона	Производительность, тыс. м³/ч	Размеры, мм						Масса установки, кг	
		D	A	B	H	h	a × b	с бункером	с выдвигным ящиком
1	0,15	50	250	75	1020	500	26×100	17,5	20,6
2	0,31	75	375	112	1280	750	39×150	30,6	35,4
3	0,6	100	500	150	1540	1000	52×200	45,7	54,2
4	0,92	125	625	188	1800	1250	65×250	64,8	73,2
5	1,33	150	750	225	2060	1500	78×300	124,6	97,1
6	2	185	925	278	2424	1850	96×370	169,4	135,9
7	3	228	1138	341	2866	2275	108×455	230,6	191,6
8	4	263	1313	394	3230	2625	136×525	438,7	244,8
9	5	293	1463	439	3542	2925	152×585	528,5	296,1
10	6	323	1613	484	3854	3225	168×645	588,7	351,9
11	7	348	1738	521	4114	3475	181×695	654,1	401,6

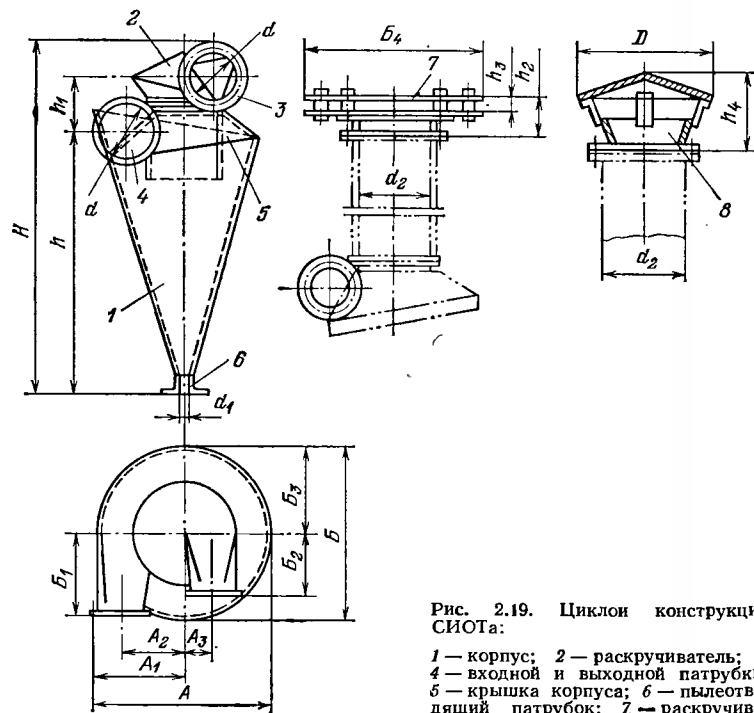


Рис. 2.19. Циклон конструкции СИОТа:

1 — корпус; 2 — раскручиватель; 3, 4 — входной и выходной патрубки; 5 — крышка корпуса; 6 — пылеотводящий патрубок; 7 — раскручиватель; 8 — колпак

ТАБЛИЦА 2.6

УСТАНОВКА ЦИКЛОНОВ КОНСТРУКЦИИ ГИПРОДРЕВПРОМА ТИПА Ц

Марка циклона¹	Производительность, тыс. м³/ч	Площадь сечения входного патрубка, м²	Размеры, мм						Масса, кг	
			D	d	H	H₁	H₂	l	A	B
Ц-250	0,5—0,7	0,00845	150	100	1150	425	600	190	340	130
Ц-300	0,7—1	0,01235	185	110	1380	525	700	225	390	165
Ц-375	1—1,5	0,01755	225	135	1720	635	900	300	470	185
Ц-450	1,5—2,2	0,0259	270	160	2035	765	1050	340	550	225
Ц-550	2,2—3,2	0,0378	330	200	2505	935	1300	450	650	270
Ц-600	2,6—3,25	0,045	355	220	2755	1020	1440	450	730	300
Ц-675	3,2—4,5	0,0553	400	250	3053	1130	1600	550	810	325
Ц-730	3,85—4,8	0,0668	440	270	3345	1240	1750	570	865	365
Ц-800	4,5—6,6	0,08	480	300	3650	1360	1800	600	970	400
Ц-870	5,45—6,85	0,0948	520	320	3980	1480	1980	650	1040	435
Ц-950	6,6—9,5	0,115	575	350	4335	1625	2250	750	1080	490
Ц-1050	7,95—9,95	0,138	630	390	4815	1785	2520	790	1283	525
Ц-1150	9,5—14	0,155	690	420	5255	1950	2750	900	1300	560
Ц-1235	11—13	0,19	740	460	5635	2100	2960	930	1406	617
Ц-1320	12,55—13,7	0,218	790	490	6045	2240	3170	990	1508	660
Ц-1400	14—20	0,249	840	500	6395	2370	3350	1050	1550	700
Ц-1500	15—23	0,277	900	550	6865	2540	3600	1140	1650	750
Ц-1600	18,4—23	0,32	960	590	7335	2750	3840	1200	1740	800

¹ Цифры соответствуют внутреннему диаметру D вт. мм.

ТАБЛИЦА 2.7

ЦИКЛОНЫ КОНСТРУКЦИИ СИОТа

Номер цик- лона	Провод- тельность, м/ч	Размеры, мм									Масса, кг
		A ₁	A ₂	A ₃	B	H	h	h ₁	d	d ₁	
1	1,5	703	264	135	675	1720	1360	235	170	68	51
2	3	1045	380	195	970	2455	1960	335	245	98	102
3	4,5	1242	465	240	1184	2995	2400	407	300	120	148
4	6	1428	535	275	1363	3440	2765	460	345	138	195
5	7,5	1593	597	310	1520	3830	3075	525	385	154	244
6	8,5	1698	635	330	1620	4080	3280	555	410	164	275
7	10	1943	690	335	1758	4423	3555	605	445	178	323

Ц (рис. 2.18, табл. 2.6) применяют для улавливания древесной пыли. Его устанавливают с нагнетательной стороны вентилятора над бункером при транспортировке отходов автотранспортом, а также над воронками при использовании пневмотранспорта.

Рекомендуемая скорость пылегазового потока во входном патрубке 16—20 м/с, коэффициент местного сопротивления, отнесенный к этой скорости, 5,4; эффективность циклона составляет 98—98,5 % [32].

Циклон конструкции СИОТа (рис. 2.19, табл. 2.7) имеет треугольную форму входного и отводящего патрубков. Циклоны этой конструкции рекомендуются применять для улавливания сухой неволокнистой, неслипающейся пыли. При установке циклона на всасывающей стороне вентилятора газопылевой поток выходит через раскручиватель с винтовой крышкой, а при установке на стороне нагнетания — через шахту с коллаком или раскручивателем в виде плоского щита. Коэффициент местного сопротивления, отнесенный к скорости входа пылегазового потока, равен 4,2 для циклона с винтовым раскручивателем и 6 без него. Максимальное разрежение 5 кПа.

Расчет и выбор циклонов

Циклоны рассчитывают или выбирают различными методами. Наиболее целесообразным считается метод обобщения и использования показателей, получаемых при испытаниях циклонов в промышленных условиях или на полупромышленных стендах. При помощи этого метода по ряду циклонов различных типов были получены данные о фракционной степени улавливания для определенных значений скорости очищаемого газа и плотности пыли, о коэффициенте гидравлического сопротивления и др. Эти сведения с достаточной полнотой отражены в соответствующих нормативах и сопроводительной технической документации.

Для расчета или выбора циклонов необходимы следующие данные: объемный расход газов, подлежащих обеспыливанию при рабочих условиях, Q_p , м³/с; динамическая вязкость газов при рабочей температуре μ_r , Па·с; плотность газа при рабочих условиях ρ_r , кг/м³; дисперсный состав пыли, задаваемый параметрами d_m , мкм, и $\lg \sigma_\eta$; концентрация пыли в газах $c_{вх}$, г/м³; плотность частиц пыли $\rho_{ч}$, кг/м³; требуемая степень очистки η , %.

ТАБЛИЦА 2.8

ПАРАМЕТРЫ, ОПРЕДЕЛЯЮЩИЕ ЭФФЕКТИВНОСТЬ ЦИКЛОНОВ ТИПА ЦН

Параметры	ЦН-24	ЦН-15У	ЦН-15	ЦН-11	СДК-ЦН-33	СК-ЦН-34	СК-ЦН-34М
d_{50}^T , мкм	8,50	6,00	4,50	3,65	2,31	1,95	1,13
$\lg \sigma_\eta^T$	0,308	0,283	0,352	0,352	0,364	0,308	0,340
$\omega_{опт}$, м/с	4,5	3,5	3,5	3,5	2,0	1,7	2,0

Примечания: 1. Значения d_{50}^T приведенные в таблице, соответствуют следующим условиям работы циклонов: средняя скорость газа в циклоне $\omega = 3,5$ м/с; диаметр циклона $D = 0,6$ м; плотность частиц $\rho_{ч} = 1930$ кг/м³; динамическая вязкость газа $\mu_r = 22,2 \cdot 10^{-6}$ Н·с/м².

2. Для циклона типа ЦМС параметры не определялись.

1. Задаввшись типом циклона, по табл. 2.8 или 2.9 определяют оптимальную скорость газа в аппарате $\omega_{опт}$.

2. Рассчитывают необходимую площадь сечения циклонов, м²:

$$F = Q_p / \omega_{опт}. \quad (2.3)$$

3. Определяют диаметр циклона, м, задаваясь количеством циклонов N :

$$D = \sqrt{F / 0,785N}. \quad (2.4)$$

Диаметр циклона округляют до величины, рекомендуемой табл. 2.1 или 2.2.

4. Вычисляют действительную скорость газа в циклоне:

$$\omega = Q_p / 0,785ND^2. \quad (2.5)$$

Скорость в циклоне не должна отклоняться более чем на 15 % от оптимальной.

ТАБЛИЦА 2.9

ПАРАМЕТРЫ, ОПРЕДЕЛЯЮЩИЕ ЭФФЕКТИВНОСТЬ ЦИКЛОНОВ

Параметр	Циклон конструкции		
	СИОТа	ВЦНИИОТа	Гипродревпрома (тип Ц)
d_{50}^T , мкм	2,6	8,6	4,12
$\lg \sigma_\eta^T$	0,28	0,32	0,34
$\omega_{опт}$, м/с	1,00	4,00	3,3
ξ	1400	75	210

ТАБЛИЦА 2.10

ЗНАЧЕНИЯ КОЭФФИЦИЕНТОВ СОПРОТИВЛЕНИЯ ЦИКЛОНОВ
($D=500$ мм; $w=3$ м/с)

Тип циклона	d/D	Без дополни- тельных устройств		С кольце- вым диф- фузором		С выходной улиткой $\xi_{\text{вц}}$	С отводом 90° $R/d=1,5$	
		$\xi_{\text{ц}}^{\text{с}}$	$\xi_{\text{ц}}^{\text{п}}$	$\xi_{\text{ц}}^{\text{с}}$	$\xi_{\text{ц}}^{\text{п}}$		$l/d=0\div 12$ $\xi_{\text{ц}}^{\text{с}}$	$l/d>12$ $\xi_{\text{ц}}^{\text{с}}$
ЦН-11	0,59	245	250	207	215	235	245	250
ЦН-15	—	155	163	132	140	150	155	160
ЦН-15У	—	165	170	140	148	158	165	170
ЦН-24	—	75	80	64	70	73	75	80
СДК-ЦН-33	0,33	520	600	—	—	500	—	560
СК-ЦН-34	0,34	1050	1150	—	—	—	—	—
СК-ЦН-34М	0,22	—	2000	—	—	—	—	—

5. Рассчитывают коэффициент гидравлического сопротивления одиночного циклона или группы циклонов:

$$\xi = K_1 K_2 \xi_{\text{ц}500}^{(\text{п})} + K_3, \quad (2.6)$$

где $\xi_{\text{ц}500}^{(\text{п})}$ — коэффициент гидравлического сопротивления одиночного циклона diam. 500 мм, выбираемый по табл. 2.10. Индекс «с» означает, что циклон работает в гидравлической сети, а индекс «п» — без сети, т.е. работает прямо на выхлоп в атмосферу; K_1 — поправочный коэффициент на диаметр циклона, определяемый по табл. 2.11; K_2 — поправочный коэффициент на запыленность газа, определяемый по табл. 2.12; K_3 — коэффициент, учитывающий дополнительные потери давления, связанные с компоновкой циклонов в группу, определяемый по табл. 2.13.

ТАБЛИЦА 2.11

ПОПРАВОЧНЫЙ КОЭФФИЦИЕНТ K_1 НА ДИАМЕТР ЦИКЛОНА

Диаметр циклона, мм	ЦН-11	ЦН-15; ЦН-15У; ЦН-24	СДК-ЦН-33; СК-ЦН-34; СК-ЦН-34М
150	0,94	0,85	1,0
200	0,95	0,90	1,0
300	0,96	0,93	1,0
450	0,99	1,0	1,0
500	1,0	1,0	1,0

ТАБЛИЦА 2.12

ЗНАЧЕНИЯ ПОПРАВОЧНЫХ КОЭФФИЦИЕНТОВ НА ЗАПЫЛЕННОСТЬ ГАЗОВ
($D=500$ мм)

Тип циклона	Поправочный коэффициент K_2 при запыленности газа, 10^3 кг/м ³						
	0	10	20	40	80	120	150
ЦН-11 . . .	1	0,96	0,94	0,92	0,90	0,87	0,5
ЦН-15 . . .	1	0,93	0,92	0,91	0,90	0,87	0,86
ЦН-15У . . .	1	0,93	0,92	0,91	0,89	0,88	0,87
ЦН-24 . . .	1	0,95	0,93	0,92	0,90	0,87	0,86
СДК-ЦН-33 . . .	1	0,81	0,785	0,78	0,77	0,76	0,745
СК-ЦН-34 . . .	1	0,98	0,947	0,93	0,915	0,91	0,90
СК-ЦН-34М . . .	1	0,99	0,97	0,95	—	—	—

Для одиночных циклонов $K_3=0$.

6. Определяют потери давления в циклоне, Па, по формуле

$$\Delta p = \xi_{\text{ц}} \frac{\rho w^2}{2}. \quad (2.7)$$

Если потери давления Δp оказались приемлемыми, переходят к расчету полного коэффициента очистки газа в циклоне. При этом принимается, что коэффициент очистки газов в одиночном циклоне и в группе циклонов одинаков. В действительности коэффициент очистки газа в группе может оказаться несколько ниже, чем в одиночном циклоне. Это объясняется возможностью возникновения перетоков газа через общий бункер, снижающих коэффициент очистки газов в группе циклонов.

7. Взяв из табл. 2.8 или 2.9 два параметра (d_{50}^T и $\lg \sigma_{\eta}^T$), характеризующих парциальную эффективность выбранного типа циклона при указанных в таблице условиях, определяют значение параметра d_{50} при рабочих условиях (диаметре циклона, скорости потока, плотности пыли, динамической вязкости газа) по уравнению

$$d_{50} = d_{50}^T \sqrt{(D/D_T)(\rho_{\text{гт}}/\rho_{\text{г}})(\mu/\mu_T)(w_T/w)}. \quad (2.8)$$

ТАБЛИЦА 2.13

КОЭФФИЦИЕНТ K_3 , УЧИТЫВАЮЩИЙ ДОПОЛНИТЕЛЬНЫЕ ПОТЕРИ ДАВЛЕНИЯ, СВЯЗАННЫЕ С ГРУППОВОЙ КОМПОНОВКОЙ

Характеристика группового циклона	Значение коэффициента
Круговая компоновка, нижний организованный подвод	60
Прямоугольная компоновка, организованный подвод, циклонные элементы расположены в одной плоскости. То же, но улиточный отвод из циклонных элементов	35
Прямоугольная компоновка. Свободный подвод потока в общую камеру	28
	60

8. Определяют параметр x по формуле

$$x = \frac{\lg(d_m/d_{50})}{\sqrt{\lg^2 \sigma_n + \lg^2 \sigma_q}}. \quad (2.9)$$

9. По табл. 1.6 определяют значение $\Phi(x)$, представляющее собой полный коэффициент очистки газа, выраженный в долях.

По окончании расчета полученное значение η сопоставляется с требуемым. Если η окажется меньше требуемого, необходимо выбрать другой тип циклона с большим значением коэффициента гидравлического сопротивления. Для ориентировочных расчетов необходимого значения ξ_d рекомендуется следующая зависимость:

$$\zeta_{II2} = \zeta_{II1} \left(\frac{100 - \eta_p}{100 - \eta} \right)^2 \frac{w_1}{w_2} \cdot \frac{D_2}{D_1}, \quad (2.10)$$

где индекс «1» относится к расчетным, а индекс «2» — к требуемым параметрам циклона.

Расчет последовательно установленных циклонов. Коэффициент очистки газов в установке, состоящей из двух или более последовательно установленных циклонов, удобно определять по графикам парциальных проскоков через каждый из циклонов, составленным в вероятностно-логарифмической системе координат. Расчет ведется в следующей последовательности:

1. Определяют значения d_{50} для каждого из последовательно установленных циклонов.

2. Определяют значения $d_{\epsilon=15,9}$ для каждого из циклонов по уравнению

$$\lg d_{\varepsilon=15,9} = \lg \sigma_{\eta=\varepsilon} + \lg d_{50}. \quad (2.11)$$

3. В вероятностно-логарифмической системе координат (ординаты сетки должны быть представлены в относительных долях) наносят точки d_{50} и $d_{e=15,9}$ для каждого из циклонов. Точки d_{50} и $d_{e=15,9}$ соединяют прямыми линиями парциальных проскоков через циклоны.

4. Определяют общий парцнальный проскок через систему из двух последовательно установленных циклонов:

$$\varepsilon_{1-2} = \varepsilon_1 \varepsilon_2, \quad (2.12)$$

где ε_{1-2} — общий парциальный проскок; ε_1 — парциальный проскок для первого циклона; ε_2 — то же, для второго.

Кривую ϵ_{1-2} наносят на тот же график.

5. Проводят прямую линию, аппроксимирующую кривую ϵ_{1-2} , находят значения d_{50} и $\lg \sigma_{\eta} = \lg \sigma_{\epsilon}$, характеризующие эту прямую.

6. Исчисляют коэффициент очистки газов по уравнению 1.28. При вариантной проработке подбора циклонов рассмотренных типов для определения приближенной степени очистки газов можно воспользоваться графическим методом (рис. 2.20) [33].

Номограмма может быть использована для приближенного определения степени улавливания пыли в циклонах различного типа с учетом влияния основных факторов: температуры, гидравлического сопротивления, среднего медианного размера пыли, ее плотности и диаметра циклона, но без учета значения величины σ . Порядок пользования этой номограммой показан на примерах.

Пример. Определить степень улавливания пыли в циклоне типа СДК-ЦН-33, если его диам. 800 мм, гидравлическое сопротивление

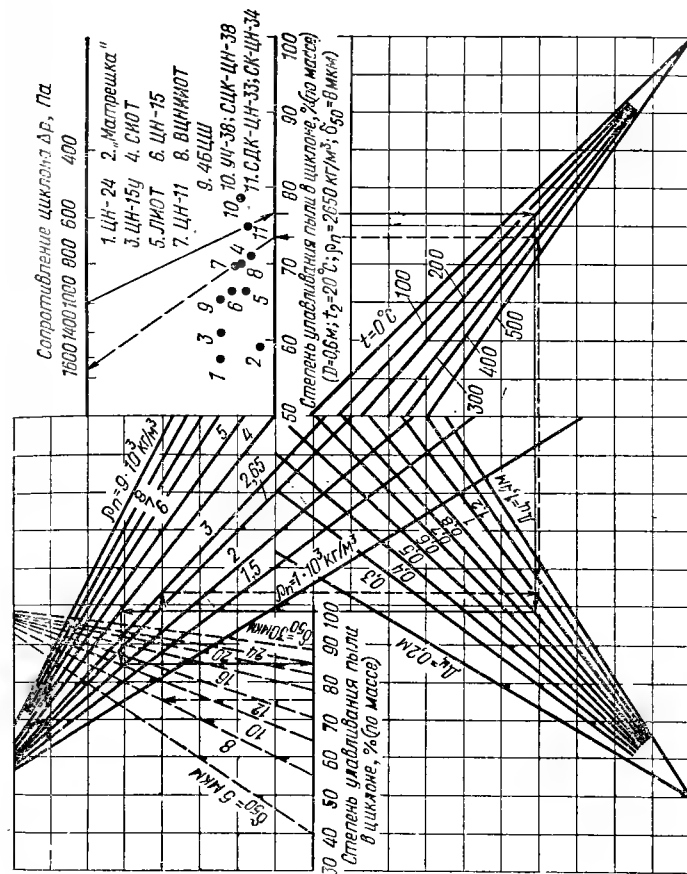


Рис. 2.20. Нограмма для определения степени очистки газов в циклоне

1000 Па, температура газа 200 °С, плотность пыли 4000 кг/м³ и медианный диаметр пыли 10 мкм.

На верхней шкале сопротивления циклона находим точку, соответствующую $\Delta p = 1000$ Па. Через эту точку и точку 11, соответствующую циклону типа СДК-ЦН-33, проводим прямую линию до пересечения с горизонтальной шкалой в середине номограммы, на которой нанесена степень улавливания пыли в циклоне diam. 0,6 м при $t_0 = 20$ °С; $\rho = 2650$ кг/м³ и $\delta_{50} = 8$ мкм. Через эту точку проводим вертикаль до линии, соответствующей $t = 200$ °С; далее горизонталь до линии, соответствующей $D = 800$ мм; вертикаль до линии, соответствующей $\rho = 4000$ кг/м³; горизонталь до линии, соответствующей $\delta_{50} = 8$ мкм, и вертикаль до шкалы η , по которой находим степень улавливания пыли ($\eta = 85$ %).

Пример. Какое гидравлическое сопротивление потребуется преодолеть в циклоне конструкции ВЦНИИОта, если степень улавливания в нем пыли должна составлять 75 %, средний медианный размер пыли 8 мкм, плотность 3000 кг/м³, диаметр циклона 1000 мм, температура газа 400 °С?

На левой горизонтальной шкале находим точку, значение которой соответствует $\eta = 75$ %. Через эту точку проводим вертикаль и горизонталь до соответствующих линий $\delta_{50} = 8$ мкм; $\rho = 3000$ кг/м³; $D = 1$ м; $t = 400$ °С и далее до пересечения со средней горизонтальной шкалой. Через эту точку и точку 8 (циклон конструкции ВЦНИИОта) проводим прямую до пересечения с верхней горизонтальной шкалой и на ней находим искомое значение $\Delta p \approx 1500$ Па.

Практические рекомендации по выбору циклонов

Выбор типа и размера циклона производится на основании заданного расхода газов, физико-механических свойств пыли, требуемого коэффициента очистки, габаритов установки, эксплуатационной надежности и стоимости очистки. При очистке больших объемов газов одиночные циклоны типа ЦН-11, ЦН-15, ЦН-15У и ЦН-24 объединяются в группы по 2, 4, 6 и 8 элементов, расположенных в два ряда, и по 10, 12 и 14 элементов при круговой компоновке. Диаметр циклонов типа ЦН-11, ЦН-15, ЦН-15У, объединенных в группы с прямоугольной компоновкой, не должен превышать 1800 мм, а при круговой компоновке 1000 мм.

При обеспыливании газа объемом более 80000—100000 м³/ч и при высоких требованиях к очистке следует применять батарейные циклоны. Батарейные циклоны имеют меньшие габариты, чем групповые, но требуют для своего изготовления большего расхода металла и стоимость их выше стоимости групповых циклонов.

При выборе циклонов конструкции НИИОгаза следует обращать внимание на надежность работы системы, особенно в тех случаях, когда ремонт или ревизия системы газоочистки невозможны без остановки технологического оборудования. Широкий диапазон типоразмеров циклонов позволяет удовлетворять многие требования, в том числе и по надежности. Наиболее характерными нарушениями нормальной работы циклонов являются истирание стенок циклонов абразивной пылью и залипание. С увеличением диаметров циклонов и понижением скорости газового потока на входе истирание стенок и залипание уменьшаются. Вследствие этого для улавливания абразивной пыли рекомендуются применять циклоны типа СК-ЦН-34, способные обеспечивать высокую степень очистки при сравнительно небольшой скорости пылегазового потока на входе.

При одинаковой эффективности наиболее высокие технико-экономические показатели имеют циклоны типа ЦН-11. Циклоны типа ЦН-15

отличаются меньшими габаритами, более устойчивой работой на пылях, склонных к налипанию, поэтому их эксплуатация оправдана при очистке газов с высокой концентрацией мелкой пыли или улавливания средне- и сильнослипающихся пылей.

При невысоких требованиях к степени очистки, а также для очистки газов от пылей со средним медианным diam. > 20 мкм предпочтительно использование циклонов типа ЦН-24. При больших расходах газов и высокой концентрации пыли в газовом потоке примененные циклоны типа ЦН-24 может быть рекомендовано в качестве первой ступени очистки перед аппаратами, обеспечивающими высокую эффективность, например перед циклонами типа СДК-ЦН-33, рукавными фильтрами или электрофильтрами.

Циклоны типа ЦН-15У характеризуются низкими технико-экономическими показателями, и их использование может быть оправдано только в тех случаях, когда имеются строгие ограничения габаритов по высоте. Для очистки газов от мелкой пыли со средним медианным diam. 5—6 мкм, а также при высоких требованиях к качеству очистки следует использовать наиболее высокоэффективные конические циклоны типа СДК-ЦН-33. При ограничениях по габаритам рекомендуется применять циклоны типа СК-ЦН-34, имеющие высокую эффективность при больших энергетических затратах. Для обеспечения устойчивой работы, исключающей забивание пылевых выпускных отверстий, условная скорость для циклонов типа СК-ЦН-34 должна составлять не менее 2,0 м/с. При улавливании сажи в циклонах diam. > 1 м скорость может понижаться до 1,5 м/с. Недостатками конических циклонов являются большие габариты, трудность комплектования их в группы и относительно высокий расход металла на 1000 м³/ч очищаемых газов.

Для снижения потерь давления в одиночных циклонах типа ЦН-15, ЦН-15У и ЦН-24 при улавливании неслипающихся пылей можно использовать регенераторы давления, выполненные в виде лопастных раскручивателей, снижающих сопротивление аппарата на 18—25 % без ухудшения качества очистки. В циклонах типа ЦН-24 установка раскручивателей способствует повышению эффективности очистки. Для групповых циклонов типа ЦН-11, ЦН-15, ЦН-15У и ЦН-24 рекомендуется применять только кольцевые диффузоры, позволяющие снизить сопротивление аппаратов на 10—18 %. Дополнительные затраты металла на диффузоры и лопастные раскручиватели и некоторое усложнение циклоновых аппаратов окупаются снижением энергетических затрат.

Рекомендации по подводу и отводу газов:

1. Одиночные и групповые циклоны устанавливаются как на всасывающих, так и на нагнетательных трактах системы газоходов.
2. Для очистки газов от абразивной пыли, вызывающей износ крыльчаток вентиляторов, циклоны следует устанавливать перед вентиляторами.
3. Давление газов, поступающих на очистку, и их температура могут быть любыми при условии обеспечения необходимой прочности и герметичности аппарата. Нормализованные циклоны рассчитаны на давление (или разрежение) 2500 Па и температуру до 400 °С.
4. При проектировании подводящих газоходов к циклонам следует обеспечить равномерное распределение газопылевого потока на входе в циклон за счет выполнения прямолнейных участков непосредственно перед входным патрубком или установки специальных устройств, например направляющих лопаток, распределяющих поток по сечению газоходов. Резкие повороты на отводящих газоходах в непосредственной близости от циклонов могут отрицательно влиять на равномерность распределения газов в циклонах и увеличивать сопротивление аппаратов, поэтому их следует избегать. Для установки с переменным расходом га-

зов, например в котельных металлургических заводов с различной производительностью летом и зимой, предусматривается использование нескольких групповых или одиночных циклонов, снабженных откачивающими устройствами.

5. Наличие запорных или дроссельных устройств внутри группового циклона, на коллекторах или выхлопных трубах не допускается во избежание нарушения равенства гидравлических сопротивлений между циклонными элементами. Исследования показали, что при отсутствии равенства гидравлических сопротивлений могут иметь место перетоки газов из бункера в циклон с малым сопротивлением, что приводит к значительному снижению эффективности очистки.

6. Присоединение подводящих и отводящих газоходов к циклонам следует выполнять преимущественно сварным, на бандажках, что обеспечивает надежность и герметичность соединения. В отдельных случаях при небольших размерах подводящих и отводящих газоходов (например, для одиночных циклонов) возможна установка фланцевых соединений по соответствующим ГОСТам.

7. Установка одиночных и групповых циклонов производится вертикально, так, чтобы пылевыпускное отверстие было обращено книзу. В некоторых случаях допускается горизонтальное расположение одиночных циклонов. В этом случае бункер должен иметь специальную конструкцию.

2.4. БАТАРЕЙНЫЕ ЦИКЛОНЫ

Практическое решение задач наилучшего распределения газов, уноса, отвода уловленной пыли и т. д. при необходимости установки большого числа циклонов привело к созданию батарейного циклона. Последний представляет собой пылеулавливающий аппарат, составленный из большого числа параллельно включенных циклонных элементов, которые заключены в один корпус, не имеющий общий подвод и отвод газов, а также сборный бункер (рис. 2.21).

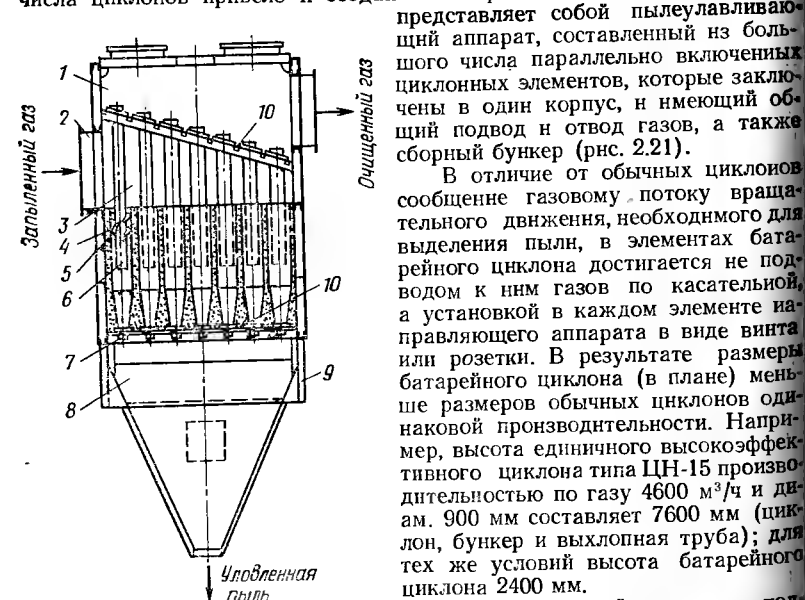


Рис. 2.21. Батарейный циклон

делительную камеру 3, откуда он выходит в кольцевые зазоры между корпусами элементов 4 и выхлопными трубами 6. В зазорах установлены направляющие аппараты 5, закручивающие газовый поток таким образом, что создающаяся центробежная сила отбрасывает частицы пыли к стенкам корпусов элементов и пыль ссыпается через пылеотводящие отверстия 7 в сборный бункер 8. Очищенный газ через выхлопные трубы поступает в камеру 1. Для крепления корпусов элементов и вы-

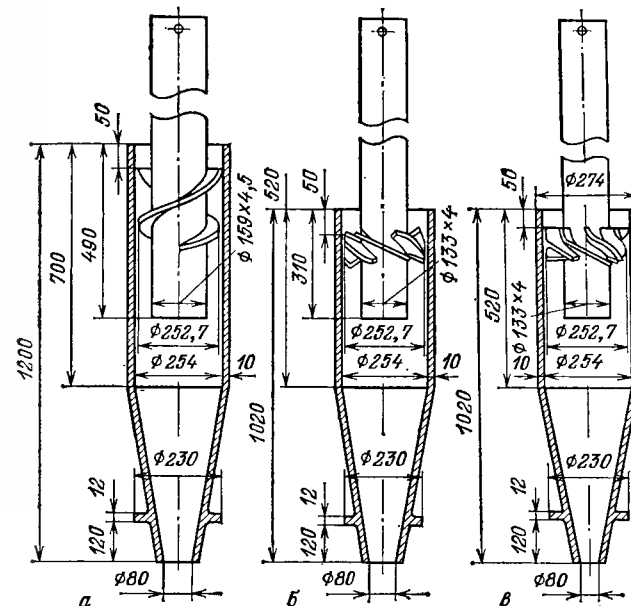


Рис. 2.22. Элемент батарейного циклона:

а — с направляющим аппаратом типа «винт»; б — с направляющим аппаратом типа «розетка»; в — с направляющим аппаратом типа «розетка» с безударным входом

хлопных труб служат соответственно нижняя и верхняя трубные доски 10. Поступившая в бункер пыль отводится по течке 9, на которой установлены разгрузочные устройства, подающие пыль в систему пылетранспорта.

Наиболее распространенные типы циклонных элементов показаны на рис. 2.22.

Циклонный элемент состоит из корпуса, выхлопной трубы и направляющего аппарата. Газ из распределительной камеры поступает в элементы по оси. Лопатки направляющего аппарата сообщают газу вращательное движение, и он направляется по нисходящей в сторону отверстия для спуска пыли. Частицы пыли приобретают центробежное ускорение и перемещаются к периферии вращающегося потока. В результате концентрация пыли в верхних слоях газа, движущихся у стенок корпуса элемента, возрастает, а в областях, расположенных ближе к оси элемента, снижается. Частицы пыли, сконцентрировавшиеся на внутренней поверхности корпуса, движутся вместе с вращающимся потоком и посту-

падают в сборный бункер. При этом в бункер поступает также небольшая часть газов из нисходящего вихря, которая у нормально работающего элемента полностью всасывается через центральную часть отверстия для спуска пыли, давая начало внутреннему восходящему вихрю чистого газа. Частицы пыли отделяются от входящих в бункер газов под действием сил инерции, возникающей при изменении направления движения на 180°. По мере движения этого потока вверх (в сторону нижнего отверстия выхлопной трубы) к нему постепенно присоединяются порции газа, отделяющиеся от внутренней части нисходящего вихря. Это явление незначительно увеличивает пылеунос в выхлопную трубу, так как поток воздуха движется со скоростью, недостаточной для противодействия движению частиц к периферии элемента из-за распределения по значительной высоте.

При сопоставлении технико-экономических показателей батарейных и обычных циклонов следует учитывать следующее:

степень очистки газов в батарейных циклонах несколько ниже той, которую можно достичь в равных по диаметру обычных циклонах. Принято считать, что примерно одинаковым к. п. д. обладают обычные циклоны вдвое большего диаметра, чем батарейные;

большое число циклонных элементов, объединенных общим бункером в одной секции батарейного циклона, требует равномерного распределения очищаемых газов;

в случае применения элементов малого диаметра соответственно увеличивается их необходимое число, что повышает опасность неравномерного распределения газов и возрастания вредных перетоков газов между элементами через общий бункер. Поэтому чаще всего для батарейных циклонов целесообразно применять элементы диам. 250 мм.

Корпус и бункер батарейного циклона изготавливают сварными из листовой стали. Все сварные швы должны быть не только прочными, но и плотными, за исключением швов приварки ребер жесткости, которые должны удовлетворять только условиям прочности. Корпус батарейного циклона часто выполняется секционированным, что позволяет сохранять оптимальную скорость движения газов в циклонных элементах при переменных нагрузках (работа котельных в летний и зимний периоды) путем отключения соответствующих секций. Кроме того, секционирование уменьшает возможности заметного ухудшения степени очистки газов за счет их перетока из одних элементов в другие через пылевой бункер. Это может происходить из-за разного гидравлического сопротивления отдельных элементов (неодинакового их изготовления и неравномерного распределения газа по отдельным элементам). Для ограничения перетекания газов из одних элементов в другие пылевой бункер часто разделяют на две части перегородкой, располагаемой перпендикулярно движению газов. Для обеспечения равномерного распределения газа по всем элементам газораспределительная камера корпуса может быть выполнена клиновидной. Корпус обычно имеет прямоугольную форму, реже — цилиндрическую.

На стенке бункера для монтажных работ, осмотра и очистки устраивается люк. Если же в бункере установлена перегородка, таких люков делается два (по обе стороны от перегородки). Опорный пояс представляет собой сварную стальную конструкцию. Для жесткости по периметру с наружной стороны опорного пояса привариваются вертикальные полосы; с внутренней стороны привариваются направляющие листы под углом, равным углом наклона стенок бункера. На эти листы ложится бункер, опускаемый сверху.

Нижняя опорная решетка с ребрами жесткости устанавливается на опорных балках. Верхняя опорная решетка состоит из несущих полос, расположенных по ширине газораспределительной камеры и приварен-

ных к окаймляющей раме из полосовой стали. Между несущими полосами привариваются распорные полосы, которые образуют квадратные ячейки решетки. Размеры полос выбираются, исходя из конструктивных соображений: они должны обеспечивать прочность сооружения и возможность установки и приварки фланцев выхлопных труб.

Корпуса циклонных элементов устанавливаются на нижней опорной решетке. Под фланцами корпусов элементов предусматривается асбестовая прокладка толщиной 5 мм. Пространство над нижней опорной решеткой должно засыпаться просеянным шлаком (с зернами размером 0,6—2,0 мм) на всю высоту корпусов элементов. На расстоянии 10 ± 2 мм от верхнего края выхлопной трубы к ней приваривается квадратный фланец из листовой стали толщиной 5 мм для элементов диам. 250 и 150 мм и 3 мм для элементов диам. 100 мм.

Циклонные элементы характеризуются следующими особенностями. Направляющий аппарат типа «Винт» (см. рис. 2.22, а) менее склонен к забиванию золой или пылью, имеет меньший коэффициент гидравлического сопротивления, но одновременно обеспечивает и меньшую степень очистки, чем аппарат типа «Розетка». Последний с безударным входом (рис. 2.22, в) обеспечивает ту же степень очистки, что и обычный аппарат типа «Розетка», при значительно меньшем коэффициенте гидравлического сопротивления. Угол наклона лопаток 25° способствует более высокому коэффициенту очистки, но увеличивает гидравлическое сопротивление по сравнению с сопротивлением при угле наклона 30°.

Циклонные элементы с направляющим аппаратом типа «Винт» устанавливаются так, чтобы верхние кромки лопастей были расположены по ходу газа; направляющие аппараты типа «Розетка» по отношению к потоку устанавливаются произвольно. Однако все направляющие аппараты в одной секции батарейного циклона обязательно должны иметь одно и то же направление вращения газа.

Наиболее распространены циклонные элементы диам. 100, 150 и 250 мм. Опыт эксплуатации батарейных циклонов с элементами разного диаметра показывает, что аппараты, составленные из большого числа циклонных элементов малого диаметра (100 и 150 мм) без отсоса газов из пылевого бункера, работают недостаточно эффективно и надежно.

В СССР и за рубежом созданы батарейные циклоны с тангенциальным подводом газа к элементам (рис. 2.23).

Диаметр отверстия нижнего конуса циклонного элемента «Энергоуголь» больше диаметра отверстия выхлопной трубы. Последнее связано с применением рассматриваемого типа батарейного циклона для улавливания летучей золы при большом недожоге топлива. Увеличение диаметра отверстия конуса уменьшает опасность забивания его пылью, а

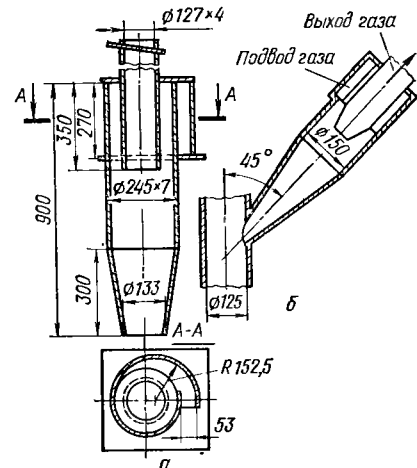


Рис. 2.23. Элементы батарейных циклонов: а — циклон «Энергоуголь»; б — циклон конструкции Семибратовского филиала НИИОгаза

также уменьшает интенсивность абразивного истирания корпуса. Однако чрезмерное увеличение диаметра может снизить коэффициент очистки газа. Поэтому батарейные циклоны «Энергоуголь» иногда снабжают системой отсоса концентрата золы из сборного бункера. Зола при большом недожоге транспортируется обратно в топку котла.

Характерной особенностью аппаратов БЦРН-150 (конструкция Семинбратовского филиала НИИОгаза) является применение циклонных элементов дном. 150 мм, снабженных лопастными коническими раскручивателями потока, которые снижают потерю давления в элементах. Циклонные элементы соединены с отсосными линиями для рециркуляции газа через выносные циклоны типа ЦН-15. Рециркуляция газов (10—15 %) осуществляется специальными дымососами. Ниже приведены характеристики аппаратов.

	БЦРН-150-2-12-20	БЦРН-150-2-24-20
Производительность по газу, м³/с	39	78
Число секций	10	20
Масса аппарата, кг	35 000	70 000
Гидравлическое сопротивление секций, Па	850	900
Производительность системы рециркуляции газа, м³/с	4,15	8,30
Число циклонов рециркуляции (типа ЦН-15 дном. 550 мм)	4	8
Тип дымососа рециркуляции	Д-10	—
Гидравлическое сопротивление системы рециркуляции, Па	1200	1200

В обозначении аппаратов: первое число — диаметр элемента, мм; второе — число камер, разделяющих газ по элементам; третье — число элементов в горизонтальном ряду; четвертое — число элементов в вертикальном ряду.

Батарейные циклоны типа БЦ-2 рекомендуется применять для обеспыливания газов, содержащих неволокнистые и неслипающиеся пыли (цемент, доломит, известняк, шамот и др.). Циклоны этого типа в зависимости от типоразмера имеют от 20 до 56 цельнолитых циклонных элементов дном. 254 мм, оборудованных направляющими аппаратами типа «Розетка» с углом наклона до 25°.

Каждый аппарат разделен на две параллельно работающие секции; последние снабжаются шиберами для их отключения.

На рис. 2.24, а показан общий вид батарейных циклонов типа БЦ-2 и ПБЦ. Технические параметры батарейных циклонов типа БЦ-2 характеризуются следующими данными:

Допустимая концентрация пыли в газе, г/м³:

для слабослипающихся пылей	75
для среднеслипающихся пылей	35
Температура газа, °С	<400
Максимальное разрежение, кПа	15
Коэффициент гидравлического сопротивления	65
Эффективность очистки (от пыли $d_m=10$ мкм), %	80

Ниже приведены технические характеристики аппаратов типа БЦ-2.

Типоразмер	Расход газа, 10² м³/ч, при $\Delta p=0,45$ кПа	Масса, кг
БЦ-2-4×(3+2)	150	3530
БЦ-2-5×(3+2)	189	4140
БЦ-2-5×(4+2)	226	4850
БЦ-2-6×(4+2)	272	5600
БЦ-2-6×(4+3)	316	6360
БЦ-2-6×(5+3)	362	7100
БЦ-2-7×(5+3)	422	7950

Условное обозначение циклона: БЦ — батарейный циклон; 2 — количество секций; следующая цифра — число рядов по глубине; цифры в скобках — количество циклонных элементов в каждой из двух секций (по ширине).

Батарейные циклоны типа ПБЦ (пылеуловитель батарейный циклонный) нашли широкое применение в системах обеспыливания аспирационного воздуха, для очистки газов сушильных барабанов, на участках пересыпки пылевидных материалов. Характерной особенностью аппарата является то, что наиболее грубые частицы пыли под влиянием инерционных и гравитационных сил осаждаются в межэлементном пространстве, а более мелкие частицы пыли отделяются непосредственно в циклонных элементах.

В зависимости от типоразмера аппараты имеют от 12 до 90 сварных циклонных элементов дном. 250 мм с полуулиточным входом газа. Элементы размещаются на решетке вертикальными рядами под углом 45°. Общий вид батарейного циклона приведен на рис. 2.24, б.

Технические параметры батарейных циклонов типа ПБЦ характеризуются следующими данными:

Допустимая концентрация пыли в газе, г/м³	75
Температура газа, °С	<120
Расчетное давление, кПа	40
Коэффициент гидравлического сопротивления	150
Эффективность очистки (от угольной пыли $d_m=30$ мкм), %	>95

Типоразмерный ряд состоит из четырех аппаратов (табл. 2.14).

Корпус и бункер аппарата изготавливаются из низколегированной стали, циклонные элементы — из углеродистой стали.

Батарейные циклоны типа БЦР-150 предназначены для улавливания золы из дымовых газов котельных агрегатов при сжигании угля и торфа.

ТАБЛИЦА 2.14
ТЕХНИЧЕСКАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА ЦИКЛОНОВ ТИПА ПБЦ

Типоразмер	Число элементов	Число взрывных клапанов	Производительность, тыс. м³/ч	Масса, кг
ПБЦ-15	24	1	12—15	4000
ПБЦ-25	36	2	25—30	5000
ПБЦ-35	48	2	35—40	6100
ПБЦ-50	96	2	50—60	12 500

а также могут использоваться при различных технологических процессах в энергетической, химической, металлургической и других отраслях промышленности для улавливания пылей, не относящихся к классу сильнослипающихся.

Характерной особенностью циклонов типа ЦБР-150У являются применение циклонных элементов с улиточным подводом с внутренним диаметром цилиндрической части 150 мм, а также отсос части потока (около 8 %) из камеры сброса пыли для ликвидации перетоков между циклонными элементами через их пылевывпускные отверстия. Отсасываемый поток очищается в одиночном или групповом циклоне типа ЦН-15 и дымососом возвращается на вход в циклон ЦБР-150У; таким образом, этот поток является рециркулируемым.

Циклоны изготовляют с различным числом унифицированных верхних, средних и нижних секций с 40 элементами. Количество циклонных элементов в аппарате — от 240 до 1600.

Корпус аппарата изготовляют на монтажной площадке по чертежам, разрабатываемым индивидуально для каждого объекта; циклон и дымосос системы рециркуляции выбирают из серийно выпускаемых (их заказывают по спецификации разработчика проекта установки ЦБР-150У). Материал для изготовления секций циклонов: циклонные элементы — из серого чугуна; элементы жесткости и листы — из углеродистой стали.

Условное обозначение типоразмера циклона: Ц — циклон; Б — батарейный; Р — с рециркуляцией; 150 — диаметр цилиндрической части циклонных элементов, мм; У — улиточный подвод газа в циклонные

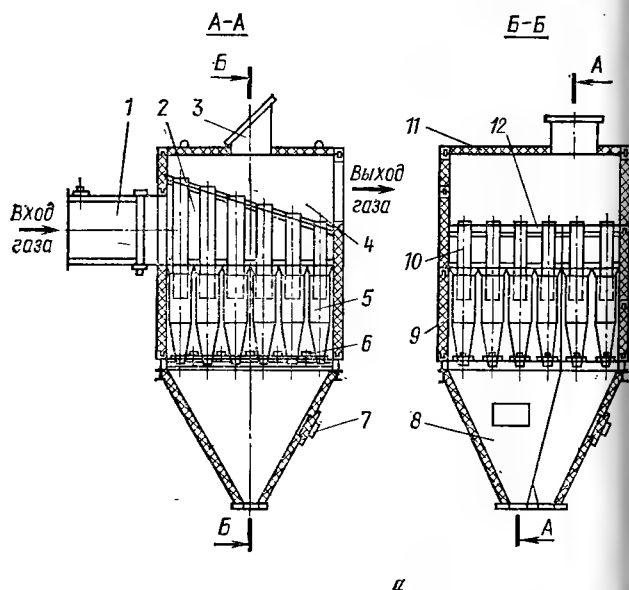


Рис. 2.24. Батарейные циклоны:

а — батарейный циклон БЦ-2; б — батарейный циклон ПБЦ; 1 — подводящий газопровод; 2 — газораспределительная камера; 3 — предохранительный клапан; 4 — камера чистого газа; 5 — циклонный элемент; 6 — нижняя решетка; 7 — нижняя решетка

элементы; следующая цифра — количество циклонных элементов; последняя цифра — температурный предел применения.

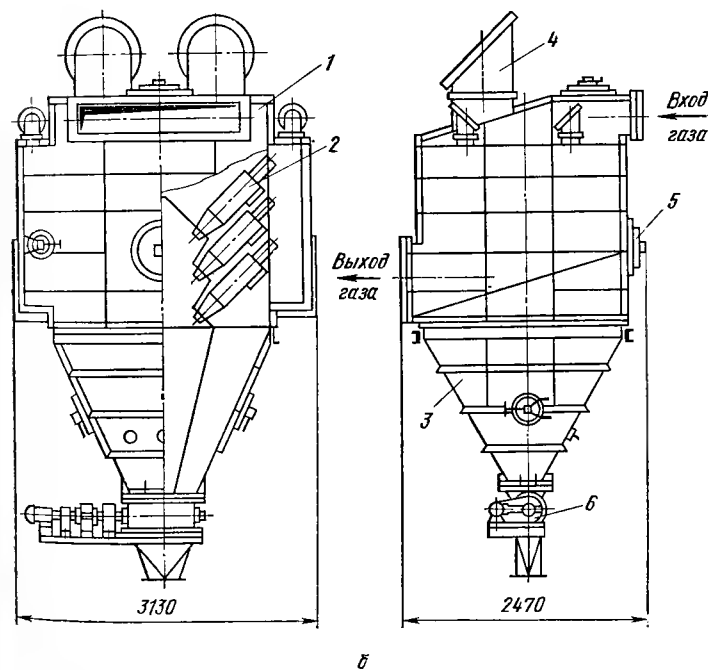
Аппарат имеет следующую техническую характеристику:

Допустимая запыленность, г/м ³	100
Температура очищаемого газа, °С	400
Рабочее разрежение в корпусе аппарата, кПа	2,5—5
Коэффициент гидравлического сопротивления	95
Эффективность очистки от золы в зависимости от фракционного состава, %	93—96

На рис. 2.25, а дана схема установки с аппаратом ЦБР-150. На рис. 2.25, б показан вариант конструктивного исполнения установки с отсосом части пылегазового потока.

Каждый циклонный элемент снабжен очистителем, состоящим из спирально свитой проволоки с тем же шагом, что и газовый вихрь в циклоне. Поэтому спираль не вызывает повышения гидравлического сопротивления, но зато способствует увеличению к. п. д. аппарата. Пневматические цилиндры периодически через систему рычагов передают спирали усилие для очистки налипшей пыли. Циклон этой конструкции обеспечивает работу установки без остановки для очистки.

Фирма «Свенска Флектфабрикен» (Швеция) рекомендует изготовлять внутреннюю часть элементов циклона литой, без обработки, так



а — батарейный циклон БЦ-2; б — батарейный циклон ПБЦ; 1 — подводящий газопровод; 2 — газораспределительная камера; 3 — предохранительный клапан; 4 — камера чистого газа; 5 — циклонный элемент; 6 — нижняя решетка; 7 — нижняя решетка

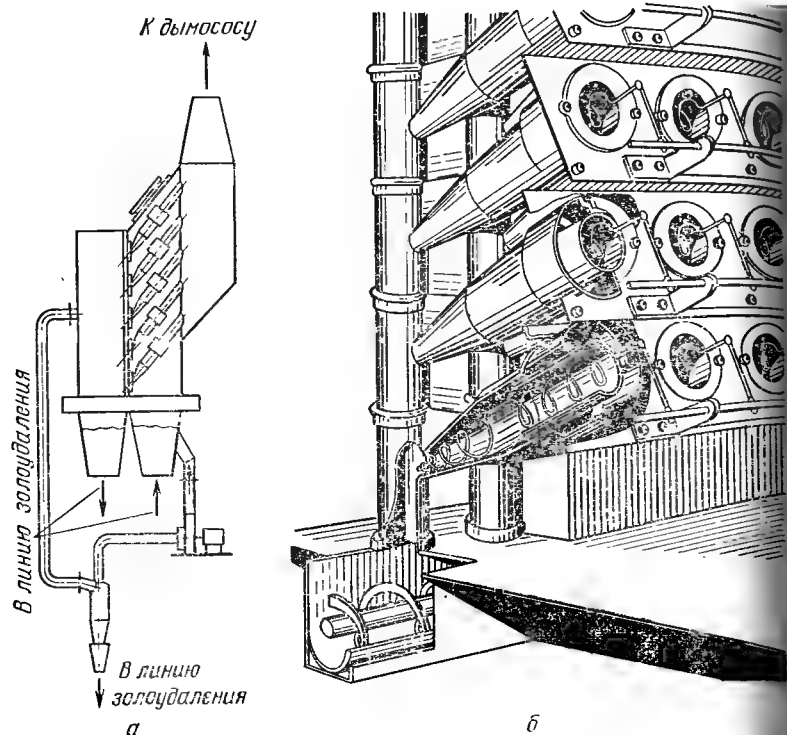


Рис. 2.25. Батарейные циклоны с отсосом и рециркуляцией газопылевого потока:

a — схема аппарата БЦР-150; *б* — аппарат фирмы «Свенска Флектфабрикен» (Швеция)

как чисто обработанная поверхность способствует возникновению медленно движущегося пограничного слоя около стенки, тогда как шершавая поверхность вызывает завихрение пограничного слоя. Вследствие повышения скорости газа исключается вероятность забивания элементов.

Батарейные циклоны с прямоточными элементами

В прямоточных батарейных циклонах частично устраняются недостатки, которые присущи противоточным циклонам. В последних применяются элементы, изменяющие направление движения пылегазового потока на 180° , что способствует росту газодинамического сопротивления и усиливает процесс турбулентного газообмена, сопровождаемый выносом части мелких фракций восходящим вихревым потоком.

Батарейные циклоны с прямоточными элементами дают меньшую степень очистки, чем обычные, поэтому они редко применяются как самостоятельные пылеуловители. Их чаще устанавливают в качестве предвключенных аппаратов перед высокоэффективными пылеуловителями — электрофильтрами или рукавными фильтрами. Конструктивные особен-

ности таких батарейных циклонов позволяют устанавливать их непосредственно в форкамере электрофильтра, что способствует улучшению газораспределения в активной зоне электрофильтра. Однако батарейные циклоны с прямоточными элементами находят ограниченное применение, что связано с дополнительными потерями давления, заметным снижением эффективности из-за вредных перетоков газа и др.

У большинства прямоточных батарейных циклонов с целью предотвращения газового обмена между запыленными и очищенными потоками процессы концентрации и отделения пыли конструктивно разделены. На рис. 2.26 показан прямоточный батарейный циклон ЦКТИ. Пылегазовый поток из камеры запыленного газа 1 поступает в оборудованные винтовыми завихрителями элементы 2, в которых под действием центробежных сил происходит перераспределение концентрации пыли по сечению элемента: возрастание у стенок и уменьшение в центральной части. Обеспыленный поток из центральной части элемента отводится в камеру очищенного газа 3. Периферийный слой газа, обогащенный пылью, через торцевое кольцо элемента отсасывается вентилятором 5 и, пройдя пылеуловитель 4, возвращается в камеру запыленных газов. В отличие от обычных (противоточных) циклонов в прямоточных батарейных циклонах элемент часто выполняет роль пылеконцентратора, а улавливание пыли происходит в специально установленных малогабаритных циклонах, тканевых фильтрах и других аппаратах.

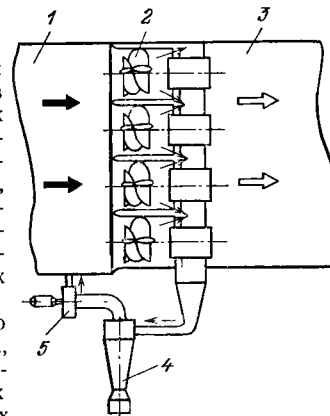


Рис. 2.26. Прямоточный батарейный циклон ЦКТИ

По данным Семибратовского филиала ННПОгаза, эффективность прямоточного батарейного циклона, имеющего элементы диам. 250 мм с винтовыми завихрителями, при улавливании золы котельной установки одной из ГРЭС составляла 23—25 % при работе без отсоса и повысилась до 45—60 % при включении системы отсоса и рециркуляции части газов. При использовании циклонных элементов малого диаметра (60—100 мм) и отсосе 15 % газового потока удается достигнуть 90 % степени очистки газов.

Удачной конструкцией является аппарат ПКН института «Гипромаш-углеобогащение». На рис. 2.27 показан продольный разрез пылеуловителя ПКН, состоящего из 12 пылеконцентраторов диам. 490 мм. Пройдя входной коллектор 1, пылегазовый поток закручивается при помощи многолопастчатых решеток 3, устанавливаемых в основании пылеконцентраторов 2. Для предотвращения отрицательного действия обратного осевого вихря решетки соединяются с направляющими конусами. Пыль, отброшенная центробежной силой к стенкам пылеконцентраторов, вмонтированными раскручивателями, подается на очистку в циклоны 6 (четыре штуки с частью газа (10—15 %) через отсосные кольца 2, оборудованные циклоном типа ЦН-15 диам. 550 мм), под каждым из которых установлены бункер 5 и две мигалки 4. Основной поток после пылеконцентраторов объединяется с очищенным в циклонах газом в выходном коллекторе 8 и удаляется из аппарата. Объем отсасываемого в циклон газа регулируется при помощи дроссельной заслонки, устанавливаемой за ПКН.

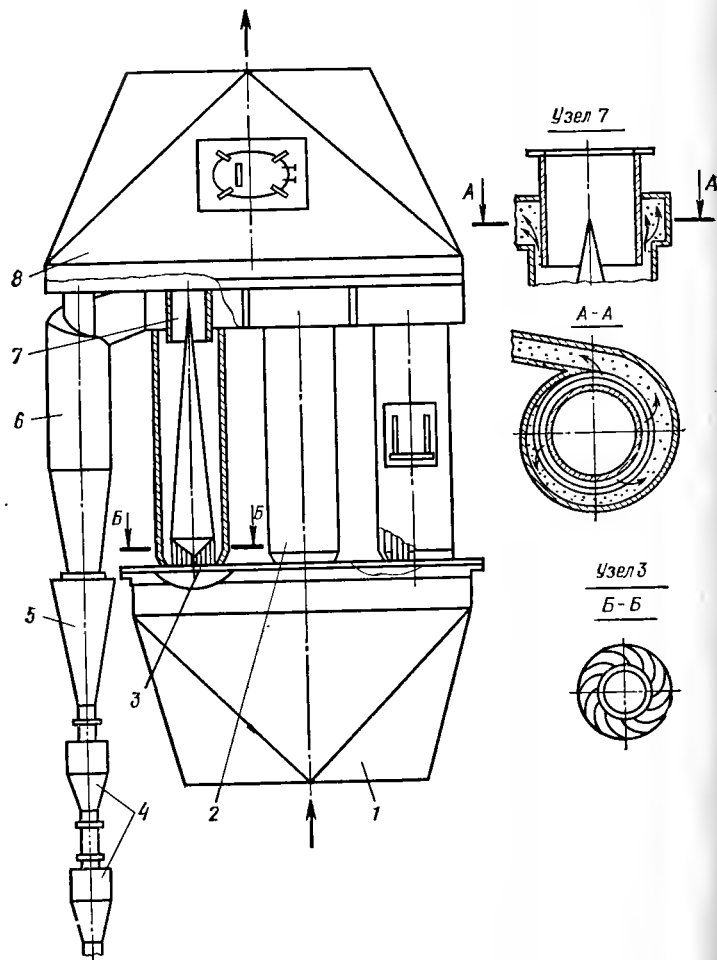


Рис. 2.27. Прямоточный батарейный циклон ПКН

В табл. 2.15 приведены технические характеристики батарейных циклонов, выпускаемых в СССР.

Расчет батарейного циклона

Расчет батарейного циклона рекомендуется производить в следующей последовательности:

1. Определяют расход газов, $\text{м}^3/\text{с}$, при котором обеспечиваются оптимальные условия работы циклонного элемента:

$$q_{\text{опт}} = 0,785D^2 \omega_{\text{опт}}, \quad (2.13)$$

Т А Б Л И Ц А 2.15

ТЕХНИЧЕСКИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ БАТАРЕЙНЫХ ЦИКЛОНОВ

Тип циклона, завод-изготовитель, ОСТ или ТУ	Число элементов в секции	Оптимальная скорость газа в элементе, $\text{м}/\text{с}$	Производительность по газу одной секции, $\text{м}^3/\text{с}$	Коэффициент сопротивления	Область промышленного применения
ЦБ-254Р, Семibrатовский завод газоочистительной аппаратуры, ОСТ 26-14-2003-77	25; 30; 40; 50; 60; 80	4,5	5,6—16,2	90	Обеспыливание газа при температуре до 400 °С
ЦБ-231У, намечается производство на Семibrатовском заводе газоочистительной аппаратуры, ОСТ 26-14-2002-77	12; 16; 20; 25; 30; 42; 56; 63	4,5	2,2—11,7	110	То же
ЦБ-2, Кусинский машиностроительный завод, ОСТ 108-033 взамен ОСТ 24-03-001	20; 25; 30; 36; 42; 56	4,5	4,84—13,6	70	Обеспыливание газа при температуре до 150 °С (аппараты выпускаются во взрывобезопасном исполнении)
ПБЦ, Карагандинский машиностроительный завод № 2, ТУ 12-44-21-038-75	24; 36; 48; 96	3,5	4,2—16,7	150	Обеспыливание газа при температуре до 120 °С (аппараты выпускаются во взрывобезопасном исполнении)

где $w_{\text{опт}}$ — оптимальная скорость потока в элементе, м/с (см. табл. 2.15); D — внутренний диаметр элемента, м.

2. Рассчитывают число циклонных элементов, необходимое для оптимальных условий работы батарейного циклона:

$$n_{\text{опт}} = Q/q_{\text{опт}}, \quad (2.14)$$

где Q — общий расход газа, м³/с.

3. По табл. 2.15 подбирают батарейный циклон с ближайшим к $n_{\text{опт}}$ числом циклонных элементов n . Число элементов выбранного батарейного циклона n желательно выбрать таким, чтобы оно отличалось от $n_{\text{опт}}$ не более чем на 10 %.

Далее определяют действительную скорость потока в элементе w , м/с:

$$w = Q/n0,785D^2. \quad (2.15)$$

4. Рассчитывают потери давления в батарейном циклоне, Па:

$$\Delta p = \zeta_{\text{г}} w^2/2.$$

Коэффициенты гидравлического сопротивления батарейных циклонов приведены в табл. 2.15.

5. Определяют коэффициент очистки газа в элементе возвратно-поточного батарейного циклона, пользуясь схемой расчета, приведенной для обычных циклонов. Необходимые для этого значения d_{50}^T и $\lg \sigma_{\eta}$ приведены в табл. 2.16.

Коэффициент очистки газов в батарее, состоящей из прямоточных элементов, снижается примерно на 10 % по сравнению с коэффициентом

ТАБЛИЦА 2.16

ПАРАМЕТРЫ, ОПРЕДЕЛЯЮЩИЕ ЭФФЕКТИВНОСТЬ БАТАРЕЙНЫХ ЦИКЛОНОВ

Параметры	Тип элемента циклона				прямоточ- ный ЦКТИ
	«Розетка»	«Розетка»	«Энергоуголь»		
	$\alpha = 25^\circ$; $D = 250$ мм	$\alpha = 30^\circ$; $D = 250$ мм	$D = 250$ мм	$D = 230$ мм	$D = 250$ мм
d_{50}^τ , мкм . . .	3,85	5,0	3,0	2,87	4,0
$\lg \sigma_\eta$	0,46	0,46	0,325	0,325	0,525

Примечания: 1. Данные, относящиеся к циклонным элементам типа «Розетка» и «Энергоуголь», соответствуют следующим условиям их работы: средняя скорость потока в элементе $w_{\text{г}} = 4,5$ м/с; динамическая вязкость газов $\mu_{\text{г}} = 23,7 \cdot 10^{-6}$ Па·с; плотность частиц $\rho_{\text{ч}} = 2200$ кг/м³.

2. Параметры, определяющие эффективность прямоточного элемента ЦКТИ, относятся к $w_{\text{г}} = 12$ м/с; $\mu_{\text{г}} = 18,8 \cdot 10^{-6}$ Па·с; $\rho_{\text{ч}} = 2200$ кг/м³; расходу газов в линии рециркуляции, составляющему примерно 10 % расхода очищаемого газа.

очистки в одиночном элементе и зависит при этом от коэффициента отсосного циклона. Все это учитывается формулой

$$\eta_{\text{бат}} = \frac{0,9\eta_{\text{ц}}\eta}{1 - 0,9\eta(1 - \eta_{\text{ц}})}, \quad (2.16)$$

где $\eta_{\text{ц}}$ — коэффициент очистки газов в циклоне отсосной линии; η — коэффициент очистки в одиночном циклонном элементе. Значения коэффициентов очистки газов выражаются в долях единицы.

Рекомендации по выбору батарейных циклонов

Для правильного выбора циклонных элементов следует проанализировать свойства пылегазового потока, подлежащего обеспыливанию. Важными параметрами, определяющими эффективность работы установки, являются аутогезионная прочность пылевого слоя, влагосодержание и запыленность пылегазового потока.

На практике наибольшее применение имеют циклонные элементы diam. 250 мм. Опыт эксплуатации батарейных циклонов показывает, что аппараты, составленные из большого числа циклонных элементов малого диаметра (100 и 150 мм), работают недостаточно эффективно и ненадежно.

Циклонные элементы с направляющими аппаратами типа «Розетка» обеспечивают большую степень очистки газа, чем элементы с направляющими аппаратами типа «Винт», однако они в большей степени подвержены забиванию. Поэтому при выборе типа элемента необходимо учитывать не только к. п. д. аппарата, но и надежность его работы. Элементы обоих типов можно применять для улавливания пылей с аутогезионной прочностью слоя 200—2000 мг/см², а для пылей с аутогезионной прочностью слоя выше 2000 мг/см² лучше применять аппараты типа «Винт». В связи с повышенной склонностью к забиванию розеточные аппараты применяют при небольших концентрациях пыли в газе.

Предельные значения запыленности, рекомендуемые для элементов diam. 100, 150 и 250 мм, и рекомендуемая производительность циклонных элементов батарейных циклонов приведены ниже.

Расход газа, м ³ /ч	>2500	>7500	<25 000
Диаметр циклонного элемента, мм	100	150	250
Максимальная запыленность газа, г/м ³ , для элемента типа:			
«Винт»	25	50	100
«Розетка»	15	35	75

Степень очистки газа в батарейном циклоне в значительной степени зависит от режима его работы, поэтому в условиях переменного объема очищаемых газов (подключение нескольких технологических агрегатов к одному аппарату) предусматривают батарейные циклоны с разным числом элементов в секциях. Для оценки влияния скорости газов на работу батарейного циклона используют величину условной скорости. Под условной скоростью понимают отношение расхода газов, проходящих через элемент, к площади поперечного сечения цилиндрической части его корпуса в месте, где нет выхлопной трубы.

Опыт эксплуатации показывает, что условная скорость в корпусе элемента, как правило, не превышает 5 м/с. При выборе скоростей учитывают необходимость обеспечения определенных значений гидравличес-

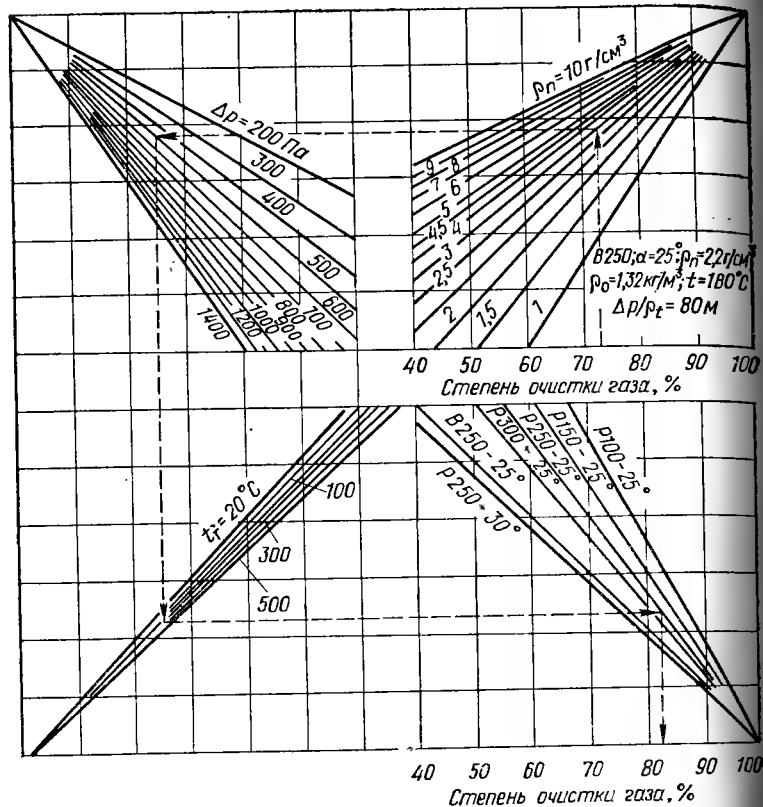


Рис. 2.28. Номограмма для определения эффективности элементов батарейного циклона

кого сопротивления, имея в виду, что повышение скорости больше 5 м/с нецелесообразно, так как это обусловит повышение эксплуатационных затрат при незначительном увеличении к. п. д. аппарата.

Пересчет коэффициента очистки для циклона другого типоразмера и других технологических параметров газа можно осуществлять с помощью номограмм, приведенных на рис. 2.28 и 2.29.

Для элементов диам. 250 мм с направляющим аппаратом типа «розетка» с углом наклона 25° при $\Delta p = 500$ Па для очистки 50000 м³/ч газа расчетная степень очистки составляет 72,3 %. По номограмме рис. 2.28 для заданных условий степень очистки будет не 72,3, а около 82,2 %.

По номограмме рис. 2.29 можно определить, что через один элемент диам. 250 мм при сопротивлении 500 Па и температуре 300 °С можно пропустить 740 м³/с газа. Следовательно, для заданного объема газа следует установить аппарат с 68 (50000 : 740) циклонными элементами.

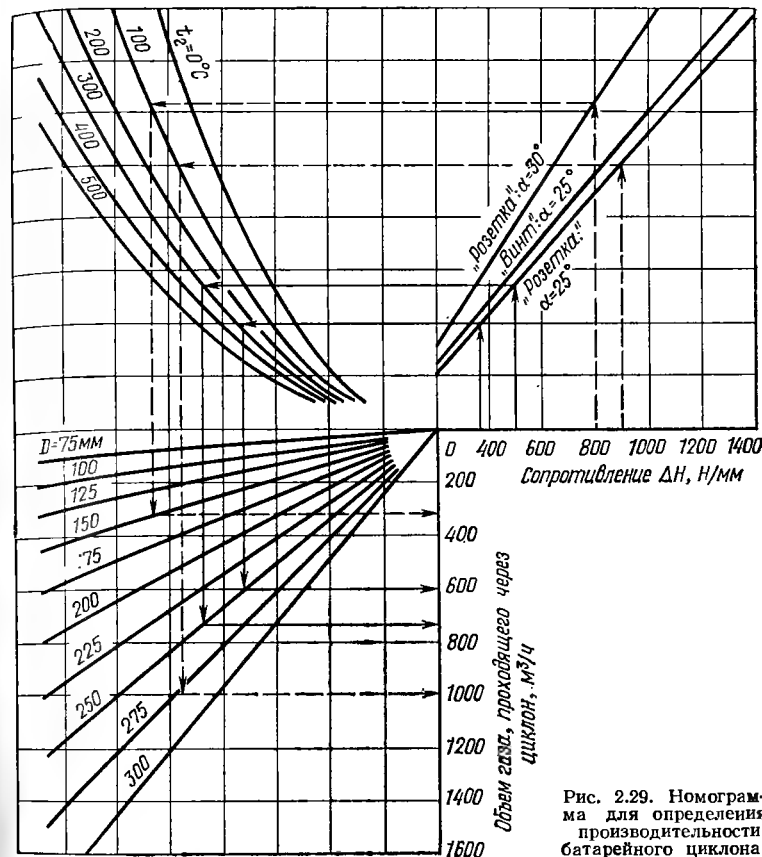


Рис. 2.29. Номограмма для определения производительности батарейного циклона

Используя заданные параметры (температуру газа, угол наклона направляющего аппарата и гидравлическое сопротивление), по номограммам рис. 2.28 и 2.29 можно определить производительность или диаметр циклонного элемента.

2.5. ВИХРЕВЫЕ ПЫЛЕУЛОВИТЕЛИ

Основным отличием вихревых пылеуловителей от циклонов является наличие вспомогательного закручивающего газового потока [34]. На рис. 2.30 показаны две основные разновидности вихревых пылеуловителей. В вихревом аппарате соплового типа (рис. 2.30, а) запыленный газовый поток закручивается лопаточным завихрителем и движется вверх, подвергаясь при этом воздействию вытекающих из тангенциально расположенных сопел 3 струй вторичного газа (воздуха). Под действием центробежных сил взвешенные в потоке частицы отбрасываются к периферии, а оттуда — в возбуждаемый струями спиральный поток

вторичного газа, направляющий их вниз в кольцевое межтрубное пространство. Вторичный газ в ходе спирального обтекания потока очищаемого газа постепенно полностью проникает в него. Кольцевое пространство вокруг входного патрубка оснащено подпорной шайбой 6, обеспечивающей безвозвратный спуск пыли в бункер 7.

Наилучшие результаты по эффективности улавливания достигаются при установке сопел, распыливающих вторичный газ, не менее чем в четыре ряда и под углом 30° . В качестве оптимальной рекомендуется установка лопаток завихрителя под углом $30-40^\circ$ при отношении диаметра завихрителя к диаметру аппарата $0,8-0,9$ [35].

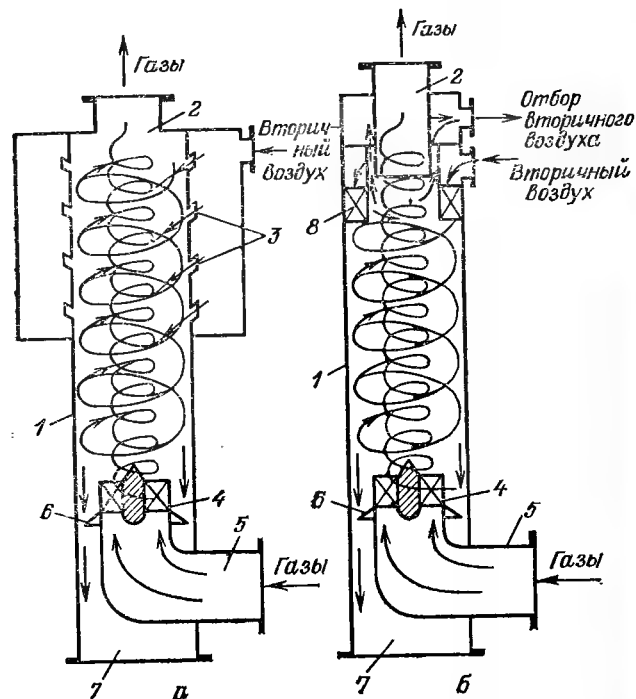


Рис. 2.30. Конструкция вихревых пылеуловителей:

а — соплового типа; б — лопаточного типа; 1 — камера; 2 — выходной патрубок; 3 — сопла; 4 — лопаточный завихритель типа «розетка»; 5 — входной патрубок; 6 — подпорная шайба; 7 — пылевой бункер; 8 — кольцевой лопаточный завихритель

Вихревой пылеуловитель лопаточного типа (рис. 2.30, б) характеризуется тем, что вторичный газ отбирается с периферии очищенного газа и подается кольцевым направляющим аппаратом с наклонными лопатками 8.

За рубежом вихревые пылеуловители выпускаются производительностью по очищаемым газам от 330 до 30000 $\text{м}^3/\text{ч}$ [34]. Ниже приведены параметры аппарата производительностью 330 $\text{м}^3/\text{ч}$:

Диаметр насадки, мм	200
Высота сепарационного объема, мм	643
Диаметр входного патрубка (в свету), мм	100
Число сопел вторичного газа	2×4
Диаметр сопел, мм	11
Давление вторичного газа, Па	5500
Нормальный расход вторичного газа, $\text{м}^3/\text{ч}$	220
Гидравлическое сопротивление аппарата, Па	3700
Скорость газов, отнесенная к площади поперечного сечения камеры в плане, $\text{м}/\text{с}$	2,0

Аналогично циклонам эффективность вихревых аппаратов с увеличением диаметра снижается.

В качестве вторичного газа в вихревых пылеуловителях могут быть использованы атмосферный воздух, периферийная часть потока очищен-

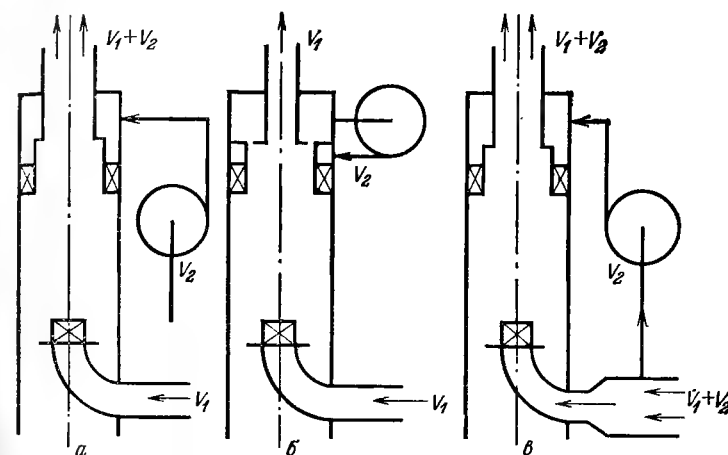


Рис. 2.31. Варианты подвода вторичного газа к вихревым пылеуловителям:

а — подвод внешнего воздуха; б — подвод очищенных газов; в — подвод запыленных газов

ных газов и запыленные газы. Варианты подвода вторичного газа показаны на рис. 2.31.

С экономической точки зрения наихудшим является вариант с использованием атмосферного воздуха. Однако он представляется оправданным при необходимости охлаждения запыленных газов. Наиболее выгодным в экономическом отношении является использование в качестве вторичного газа запыленных газов. В этом случае производительность аппарата повышается на 40—65 % без заметного снижения степени очистки.

Производительность вихревого пылеуловителя по газу может изменяться в пределах 0,5—1,15 номинальной производительности. Это объясняется решающим влиянием на эффективность аппарата параметров вторичного газа, при сохранении которых остаются неизменными

окружная скорость закручивания потока запыленных газов и соответственно центробежная сила, действующая на частицы пыли. Установлено, что оптимальный расход вторичного газа должен составлять 30—35 % от первичного [35].

Подобно циклонам вихревые пылеуловители могут компоноваться в группы. Это делается с целью увеличения эффективности пылеулавливания за счет уменьшения диаметра аппаратов.

Для ориентировочной оценки эффективности улавливания частиц различного диаметра можно воспользоваться приведенными ниже данными:

Размер частиц, мкм	2,5	5,0	10,0
Степень очистки, %	92	95	98

По сравнению с противоточными циклонами вихревые пылеуловители имеют следующие преимущества: более высокую степень очистки высокодисперсных пылей; отсутствие абразивного износа активных частей аппарата; возможность обеспыливания газов с более высокой температурой за счет использования вторичного воздуха; возможность регулирования процесса сепарации пыли за счет регулирования расхода вторичного воздуха.

К недостаткам вихревых пылеуловителей можно отнести: необходимость дополнительного вентилятора; увеличение за счет вторичного газа общего объема газов, проходящих через аппарат; сложную эксплуатацию аппарата.

Учитывая, что методы инженерного расчета для вихревых пылеуловителей пока еще не разработаны, рекомендуется при расчете этих аппаратов использовать, по аналогии с циклонами, методы теории подобия [34—37].

На рис. 2.32 приведена схема вихревого пылеуловителя, прошедшего промышленную проверку. Аппарат состоит из цилиндрического корпуса 1, к нижней части которого подводится газоход 2 запыленного газа, заканчивающийся лопаточным завихрителем 3 с размещенным в нем рассекателем 4; последний переходит в обтекатель, выполненный в виде полых усеченных конусов 5, установленных друг над другом. Между усеченными конусами размещены завихрители 6. В верхней части аппарата располагаются тангенциально установленные сопла 7 вторичного газового потока, над которыми находится шайба 8. Бункер 9 сообщается уравнилительной трубкой 10 с газоходом запыленного газа. Чистый газ по газоходу 11 подается в рассекатель 4.

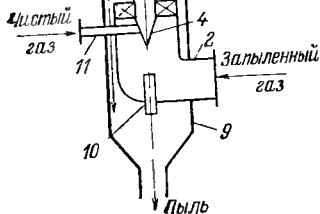


Рис. 2.32. Схема вихревого пылеуловителя

Испытания трех модификаций этого аппарата (диам. 100, 300 и 600 мм), установленного в качестве второй ступени после циклонов при обеспыливании воздуха в производстве гипохлорида кальция, детергента и ядохимиката «Цинеб», показали хорошие результаты (табл. 2.17).

ТАБЛИЦА 2.17
РЕЗУЛЬТАТЫ ПРОМЫШЛЕННЫХ ИСПЫТАНИЙ ВИХРЕВОГО ПЫЛЕУЛОВИТЕЛЯ [35]

Диаметр вихревого пылеуловителя, мм	Объем газов, м³/ч		Газодинамическое сопротивление, Па	Средний медианный размер частиц, мкм	Плотность частиц, кг/м³	Степень очистки, %
	первичного	вторичного				
100	200	160	1400	10—13	200	96
300	740	630	1200	6—8	500	96
300	1000	630	1400	6—8	500	91
600	2900	2500	1500	20—25	2200	99

2.6. ПЫЛЕУЛОВИТЕЛИ РОТАЦИОННОГО ДЕЙСТВИЯ

Простейшие пылеуловители ротационного действия представляют собой механизм, состоящий из рабочего колеса и кожуха (пылеприемника). Пылегазовый поток приводится во вращательное движение рабочим колесом, при этом под действием развивающихся сил (центробежной и Кориолиса) из очищаемого газа выделяется пыль.

Динамический пылеуловитель потребляет больше энергии, чем обычный вентилятор с такими же параметрами по производительности и напору. Но этот расход энергии меньше, чем требуется при раздельном функционировании центробежного сепаратора и вентилятора. Эксплуатационный опыт показывает, что динамические пылеуловители обеспечивают высокую степень очистки при улавливании частиц размером >10 мкм.

В зависимости от места подвода запыленного газового потока ротационные пылеуловители можно разбить на несколько групп. К первой (наиболее многочисленной) относятся пылеуловители, в которых запыленный поток поступает в центральную часть колеса, вращающегося в спиралеобразном кожухе (рис. 2.33). Частицы пыли под действием центробежных сил и сил Кориолиса отбрасываются на периферию диска, откуда поступают в пылесборник. Очищенные газы отводятся через патрубок чистого газа.

Рабочее колесо обычно имеет большое число лопаток (лопастей), угол наклона которых к диску ротора оказывает влияние на эффективность сепарации частиц из газов. В конструкции, показанной на рис. 2.33, отвод уловленных частиц пыли из периферийной зоны в бункер осуществляется за счет рециркуляции части газового потока.

Ко второй группе ротационных пылеуловителей относятся аппараты типа ЦРП (рис. 2.34), в которых улавливаемые частицы перемещаются в направлении, обратном движению газов. Очищаемые газы всасываются во вращающийся барабан через отверстия, расположенные на его боковой поверхности. В пограничном слое частота вращения пылегазового потока достигает окружной частоты вращения барабана. Вследствие этого частицы пыли, преодолевая силы аэродинамического сопротивления, выделяются из газового потока в радиальном направлении к периферии. В зависимости от соотношения центробежных сил и сил аэродинамических сил частицы пыли могут быть уловлены или вылететь из аппарата.

намического сопротивления газового потока достигается та или иная степень улавливания частиц пыли.

Из динамических аппаратов наибольшее распространение получил дымосос-пылеуловитель. Аппарат предназначен для улавливания частиц пыли со средним размером >15 мкм. Дымосос-пылеуловитель применяется для очистки дымовых газов малых котелен, в литейных производ-

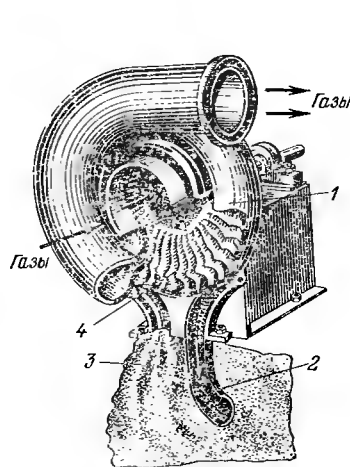


Рис. 2.33. Динамический пылеуловитель:

1 — корпус вентилятора; 2 — патрубок для отвода пыли; 3 — патрубок для отвода части пылегазового потока на рециркуляцию; 4 — колесо вентилятора

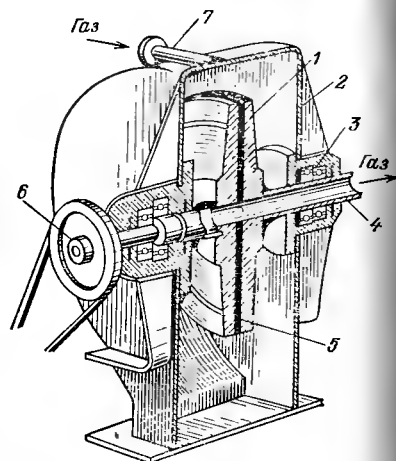


Рис. 2.34. Роторный пылеотделитель ЦРП:

1 — ротор; 2 — корпус; 3 — опора; 4 — полый вал; 5 — радиальный канал; 6 — шкив; 7 — патрубок

ствах для очистки аспирационных выбросов и на асфальтобетонных заводах для очистки газов сушильных барабанов.

Дымосос-пылеуловитель ДП-10 с циклоном циркуляции типа ЦН-15У и выгрузным устройством предназначен для перемещения газов и очистки их от частиц пыли средним размером >15 мкм. Аппарат может быть использован в качестве первой ступени очистки перед мокрыми электрофильтрами и тканевыми фильтрами (рис. 2.35).

Перемещение газов происходит за счет разности давлений, создаваемой рабочим колесом на валу. Под действием центробежных сил пыль отбрасывается к периферии и вместе с небольшим количеством газа (8—10 %) отводится для окончательного отделения через пылеотводной патрубок в выносной малогабаритный циклон, соединенный с «улиткой» газоходом. Пыль из циклона поступает в пылеприемник через герметичный бункер или спускной стояк с затвором-мигалкой. Из циклона очищенный поток возвращается в центральную часть «улитки».

Пылевой концентрат просасывается через циклон за счет перепада давлений между центром «улитки» и ее периферией; увеличивает этот перепад работа вспомогательной крыльчатки. Из центральной зоны «улитки» очищенный газ через направляющий аппарат поступает в рабочее колесо дымососа, а затем через кожух выбрасывается в дымовую трубу.

Регулирование производительности дымососа осуществляется шибром, при закрывании которого поток отжимается к периферии «улитки». Для защиты стенок от износа предусмотрены защитные козырьки из полосовой стали, располагаемые на боковинах «улитки» в периферийной зоне.

Циклон устанавливают в месте, удобном для выгрузки уловленной пыли.

Технические характеристики дымососов-уловителей, созданных Семибратовским заводом газоочистной аппаратуры на базе серийных дымососов, приведены в табл. 2.18.

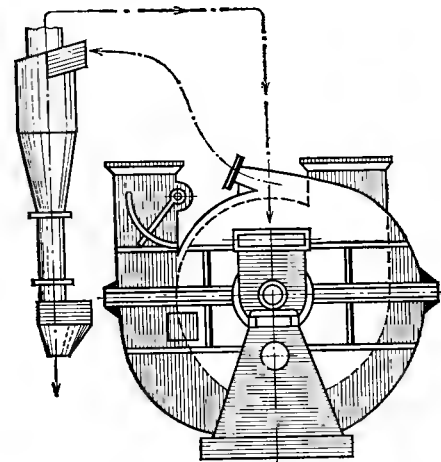


Рис. 2.35. Дымосос-пылеуловитель

Основным недостатком дымососов-пылеуловителей является относительно быстрый износ улитки и элементов контура рециркуляции газа при работе на абразивных пылях.

ТАБЛИЦА 2.18

ТЕХНИЧЕСКИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ ДЫМОСОСОВ-ПЫЛЕУЛОВИТЕЛЕЙ

Наименование	ДП-8	ДП-10
Диаметр рабочего колеса, мм	800	1000
Производительность, м³/ч	8000-10 000	14 000-20 000
Полное давление при $t=20^\circ\text{C}$, Па	1650-1400	2500-2100
Допустимая запыленность газов, г/м³	100	100
Диаметр циклона (типа ЦН-15У), мм	300	450
Потери давления в циклоне при $t=20^\circ\text{C}$, Па	800	800

Наименование	ДП-12	ДП-13.5
Диаметр рабочего колеса, мм	1200	1350
Производительность, м³/ч . . .	22 000-35 000	35 000-55 000
Полное давление при $t=20^\circ\text{C}$, Па	3600-3000	4700-3400
Допустимая запыленность газов, г/м³	150	200
Диаметр циклона (типа ЦН-15У), мм	650	800
Потери давления в циклоне при $t=20^\circ\text{C}$, Па	1000	1000

Примечание. При максимальной нагрузке дымососа-пылеуловителя расход газа в контуре рециркуляции составляет 10 % основного объема.

Дымосос-пылеуловитель применяется на асфальто-бетонных заводах для очистки дымовых газов после вращающихся сушильных барабанов, в малых промышленных котельных для очистки дымовых газов от золы, а также в литейных производствах для очистки аспирационных выбросов.

Степень очистки газов в дымососе-пылеуловителе можно определить по приближенной формуле

$$\eta = \frac{\eta_{\text{ц}} \eta_{\text{ул}}}{1 - \eta_{\text{ул}}(1 - \eta_{\text{ц}})},$$

где $\eta_{\text{ц}}$ — степень очистки газа в циклоне; $\eta_{\text{ул}}$ — степень очистки газа в улитке.

Дымосос-пылеуловитель поставляется заказчику в комплекте с выносным циклоном типа ЦН-15У diam. 500 мм, затвором-мигалкой diam. 100 мм и комплектом переходников для соединения пылесоводного патрубка дымососа с выносным циклоном.

2.7. ЭКСПЛУАТАЦИЯ ИНЕРЦИОННЫХ ПЫЛЕУЛОВИТЕЛЕЙ

Для обеспечения надежной и эффективной работы инерционных пылеуловителей необходимо правильно организовать их эксплуатацию. Практика показывает, что отсутствие систематического контроля за работой одиночных и батарейных циклонов, как правило, приводит к заметному ухудшению степени очистки газов, повышению гидравлического сопротивления, а иногда и к полному выходу из строя. Эксплуатация инерционных пылеуловителей складывается из контроля и наблюдения за их работой, периодических осмотров и ремонтов.

Эксплуатация пылевых камер, работающих на естественной тяге при высокой температуре отходящих газов. При нормальной эксплуатации пылевой камеры в ней улавливается значительное количество пыли и мелких фракций сырья, которые периодически, несколько раз в сутки, необходимо выгружать. На некоторых предприятиях пылевые камеры

оборудованы системами сбора и возврата уловленного продукта в печь. Наиболее удачной конструкцией можно считать горизонтальные цепные транспортеры в сочетании с вертикальными ковшовыми транспортерами. Однако на практике эти системы часто не включают в работу, в результате чего камера переполняется и пыль попадает в пылеулавливающие аппараты, усложняя условия их работы.

Эксплуатация циклонов и батарейных циклонов. В процессе эксплуатации циклонные установки следует подвергать систематическим осмотрам; наружные осмотры необходимо проводить несколько раз в смену. Результаты осмотров записывают в журнал начальника смены.

Внутренние осмотры пылеулавливающей установки выполняют во время остановки основного технологического агрегата. В батарейных циклонах при осмотре обращают внимание на степень изношенности элементов, наросты пыли на направляющих лопатках, герметичность затворов и питателей. Не менее двух раз в год, приурочивая к остановке основного агрегата, детально осматривают аппараты (внутри и снаружи). При необходимости их очищают от пыли, заменяют изношенные детали или устраняют сваркой обнаруженные неплотности.

О всех проведенных ремонтных работах делаются записи в паспорте установки. Если основной агрегат работает между остановками более 6 мес и в работе аппаратов не обнаруживается неполадок, полный осмотр одиночного или батарейного циклона может проводиться в сроки остановки основного агрегата. Пуск аппаратов после монтажа, остановки на ремонт или остановки основного агрегата (котла, сушилки, печи) производят только после тщательного их осмотра.

При осмотре проверяют:

наличие посторонних предметов в коллекторах, циклонах и бункере (тряпок, кусков теплоизоляции, сварочных электродов и т. д.), которые при обнаружении удаляют;

чистоту внутренних поверхностей коллекторов и аппаратов, наличие отложений пыли в конусах циклонов, на циклонных элементах и в пылевыводящем отверстии бункера, которые подлежат обязательному устранению;

надежность работы пылевого затвора (отсутствие заеданий, плотность прилегания трущихся и соприкасающихся поверхностей и т. п.) и средств для транспортировки пыли; герметичность сварных швов, люков и фланцевых соединений;

состояние теплоизоляции.

После устранения всех обнаруженных неисправностей установку включают в работу. Если аппарат предназначен для обеспыливания дымовых газов с высоким влагосодержанием (после сушильных установок), желательно предварительно прогреть его дымовыми газами, например, взятыми после пылеуловителя соседней работающей установки, или другим способом.

Негерметичность пылевыгрузного устройства при наличии в бункере давления выше атмосферного ведет к выбросу пыли в окружающую среду, а при наличии в бункере разрежения вызывает резкое снижение коэффициента очистки газов от пыли. Так, подсос воздуха в бункер, равный примерно 15 % от общего расхода газа через циклон, снижает коэффициент очистки практически до нуля.

Весьма важное значение для эффективной работы газоочистных установок имеют правильное устройство пылесбросных бункеров и своевременное освобождение их от уловленной пыли. При нерегулярном выпуске пыли происходит переполнение бункера, что недопустимо, так как при этом уменьшается степень очистки в результате выноса уловленной пыли из бункера и возможно забивание циклона пылью. Для циклонов типа ЦН слой пыли в бункере при наибольшем его заполнении должен

быть ниже пылевыпускных отверстий циклонов не менее чем на величину двух диаметров этих отверстий.

Тепловая изоляция наружных поверхностей препятствует конденсации водяных паров из пылегазового потока, а поэтому должна поддерживаться в надлежащем состоянии. Конденсация водяных паров может вызвать замораживание циклонов или циклонных элементов батарейного циклона, пылевых затворов мокрой пылью и вывести аппарат из строя. Во избежание этого температуру газов, поступающих в аппараты, поддерживают выше температуры точки росы не менее чем на 20—25 °С. Температура стенки аппарата под изоляцией поддерживается выше температуры точки росы не менее чем на 10 °С. Кроме того, наружная поверхность аппаратов покрывается тепловой изоляцией также с целью предохранения обслуживающего персонала от ожогов при случайных прикосновениях. Температура наружной поверхности по правилам техники безопасности допускается обычно не выше 55 °С.

Если необходимо обеспыливать дымовые газы с температурой, близкой к температуре точки росы, трудно полностью избежать конденсации влаги на стенках аппаратов, так как при этих неблагоприятных условиях мощность тепловой изоляции может оказаться недостаточной. Если дымовые газы очищают после сушильных установок, то сохраняется вероятность попадания в аппараты недосушенного по технологическим причинам продукта. В перечисленных случаях значительное снижение вероятности запыления аппаратов улавливаемым продуктом может обеспечить приварка к стенкам бункера обогреваемых паром змеевиков или паровых рубашек. У циклонов можно дополнительно обогревать и стенки аппарата. Паровые рубашки должны рассчитываться на прочность в соответствии с правилами Госгортехнадзора СССР.

Особо тщательно следует контролировать величину газодинамического сопротивления. Увеличение сопротивления с одновременным ухудшением очистки указывает на вероятность замораживания мокрой пылью аппаратов либо является результатом повышения расхода газов. Уменьшение газодинамического сопротивления с одновременным ухудшением очистки газа является результатом того, что газопылевой поток проходит через неплотности, минуя циклоны. В батарейном циклоне такие неплотности газа возможны через отверстия, образовавшиеся в верхней решетке или в выхлопных трубах.

При остановке технологических агрегатов (печи, котла) и прекращении подачи дымовых газов на очистку следует проследить за полной выгрузкой уловленной пыли из бункеров аппаратов, так как оставшаяся и отсыревшая пыль теряет сыпучесть, и могут образоваться «пробки» в пылевыпускных отверстиях.

Для предупреждения забивания аппаратов улавливаемым продуктом при очистке газов от сильнослипающихся пылей устанавливают вибраторы на бункерах, а иногда и на конической части циклонов. Вибраторы в работу включают периодически. Оптимальный период времени между включениями и длительность работы вибраторов определяются в процессе эксплуатации опытным путем в зависимости от склонности пылей к запылению. При установке вибраторов желательно предусмотреть компенсаторы между циклонами и примыкающими участками газопроводов.

Если вибраторы не дают ожидаемого эффекта, возможна установка специального ворошителя внутри циклона. Следует отметить, что ворошители значительно ухудшают аэродинамику циклонного процесса и, как следствие, приводят к снижению степени очистки. Однако решение об их установке иногда оказывается единственно возможным для обеспечения работоспособности аппарата улавливания сильнослипающихся пылей. Цепи ворошителя вращаются от специального привода со скоростью 4—6 об/мин. Иногда для достижения необходимого эффекта

достаточно разместить внутри одну подвешенную по оси циклона цепь, конец которой свисает в бункер. Находясь в непрерывном движении под воздействием потока газов, такая цепь препятствует возникновению сводов пыли над пылевыпускным отверстием аппарата. При этом эффективность аппарата уменьшается в значительно меньшей степени, чем при установке ворошителя.

В случае быстрого износа стенок циклонов при очистке дымовых газов от высокоабразивной пыли рекомендуется снижать скорость газов через аппарат до минимальных рекомендуемых значений. Обычно для этого предусматривается установка дополнительного параллельно включенного аппарата.

К резкому снижению скорости износа приводит и предварительное отделение наиболее крупных частиц в пылеотстойниках. Если позволяют размеры аппарата, то желательна футеровка его изнутри керамической плиткой.

Для надежной работы циклонных аппаратов температура газов должна быть выше точки росы на 20—25 °С при негигроскопичной пыли и большой влажности газов. Допускаемая запыленность газов зависит от диаметра циклона и для слабослипающихся пылей может иметь следующие значения:

Диаметр циклона, мм	800	600	500	400	300	200	100
Допускаемая запыленность, кг/м ³	2,5	2	1,5	1,2	1	<0,8	<0,6

Для эффективной работы циклонов очень важно своевременно удалять уловленную пыль из бункера. При переполнении бункера из-за выноса пыли обратно в циклон к. п. д. аппарата снижается. Для батарейных циклонов при наибольшем заполнении бункера слой пыли должен быть на 200—250 мм ниже кромки пылевыпускных отверстий элементов.

При равномерном улавливании пыли всеми элементами уровень пыли нарастает на стенках быстрее, чем в центре бункера.

Периодичность выгрузки пыли из бункеров устанавливают в зависимости от конкретных условий производства. Например, пыль из бункеров восьми циклонов типа ЦН-24 вращающейся печи для обжига магнетита (90×3,6 м) удаляют через каждые 45 мин. В бункерах постоянно имеется небольшой слой пыли толщиной 150—200 мм, который предотвращает подсосы. Периодическая выгрузка пыли обеспечивает экономно электроэнергию.

Количество газов, поступающих на установку, должно находиться в пределах, предусмотренных для данного аппарата. При уменьшении количества газов снижается скорость их движения в циклонах, что приводит к снижению коэффициента очистки. При значительном увеличении количества газов возрастает гидравлическое сопротивление установок, при этом в некоторых случаях коэффициент очистки может уменьшаться.

При выборе допускаемой запыленности газов рекомендуется учитывать степень прилипания пыли к стенкам циклона, зависящую от физико-химических свойств, дисперсного состава пыли, влажности газов, материала и состояния поверхности стенок. В общем случае чем тоньше пыль, тем легче она прилипает. Пыли, у которых 60—70 % частиц диаметром <10 мкм, липкие, хотя те же пыли крупнее 10 мкм сыпучие.

Для обеспечения надежной работы циклонов при очистке газов от среднеслипающихся пылей допустимая запыленность газов должна быть уменьшена в 4 раза, а для сильнослипающихся в 8—10 раз.

Длительная надежная работа циклонов типа ЦН в значительной степени зависит от интенсивности абразивного износа. При улавливании крупной абразивной пыли концентрация ее должна снижаться в 2—3 раза против допустимой, для чего предварительно следует очищать газы от наиболее крупных частиц в пылеотстойниках, пылевых камерах, коллекторах, разгрузителях и других простейших пылеуловителях.

Уменьшению степени абразивного износа способствует также снижение скорости газового потока на входе в циклон, хотя при этом возможно некоторое уменьшение степени очистки. При улавливании абразивной пыли толщина стенок должна быть в два раза больше обычной или стенки циклона должны иметь специальные покрытия из резины, каменного литья или других износостойких материалов.

На эффективность работы циклонов типа ЦН существенное влияние оказывает режим работы аппарата. Для обеспечения наиболее высоких показателей очистки газов режим работы таких циклонов должен быть стабильным. Изменение в расходе газов не должно превышать 10—12 %.

В работающей установке газодинамическое сопротивление измеряется постоянно включенным манометром; отклонения показаний — не более 25—30 % от номинала. Уменьшение газодинамического сопротивления установки с одновременным ухудшением очистки газов происходит либо вследствие уменьшения расхода газов, либо из-за того, что часть пылегазового потока, минуя циклоны, выбрасывается через неплотности в шиберах или фланцевых соединениях. Увеличение сопротивления установки с одновременным ухудшением очистки газа является результатом увеличения расхода газов или указывает на большое скопление пыли в бункере.

Циклонные установки должны снабжаться сигнализаторами уровня пыли. При отсутствии проверяют уровень пыли путем легкого обстукивания, по звуку.

Пылевые затворы и средства транспортировки уловленной пыли должны действовать безотказно.

Подсосы могут вызываться не только негерметичностью пылевых затворов, но и неплотностями в корпусе, фланцевых соединениях, в прокладках люка. В процессе эксплуатации установки организуют постоянный контроль за температурой газов на входе и выходе из циклонов. В циклонных аппаратах не должно происходить конденсации паров воды. Температура стенок циклонов и бункера должна быть выше точки росы очищаемых газов. Особенно опасно снижение температуры при улавливании пылей, имеющих повышенное содержание CaO или других компонентов, вызывающих слипание пыли при наличии влаги и забивания течек. Кроме того, конденсация водяных паров приводит к коррозии внутренней поверхности стенок циклонов, бункеров и газоходов. Наличие слоя пыли на стенках ускоряет процесс коррозии металла.

Таким образом, меры по предотвращению коррозии стенок циклонов сводятся прежде всего к содержанию в исправном состоянии наружной теплоизоляции.

Циклонную установку можно выключать перекрытием газохода шиберной заслонкой или отключением вентилятора, обеспечивающего транспортировку газов.

Пылевыгрузные устройства, работающие непрерывно, должны отключаться через 5—10 мин после выключения циклонной установки. Пылевыгрузные устройства, работающие периодически, должны быть открыты и необходимо принять меры для полного опорожнения бункера, так как оставшаяся и отсыревшая пыль теряет сыпучесть и может образовать пробку в пылевыпускном отверстии бункера.

Постоянный контроль за работой батарейного циклона является важным элементом его эксплуатации. Система контроля работы батарейного циклона включает непрерывное измерение следующих величин (рис. 2.36): статического напора газов до аппарата; перепада статических напоров в батарейном циклоне; расхода газов за аппаратом; относительной запыленности очищенных газов; температуры газов до и после аппарата.

В батарейных циклонах износ циклонных элементов при улавливании абразивных пылей — довольно распространенное явление; чаще изнашиваются стенки корпусов элементов в их цилиндрической, а также

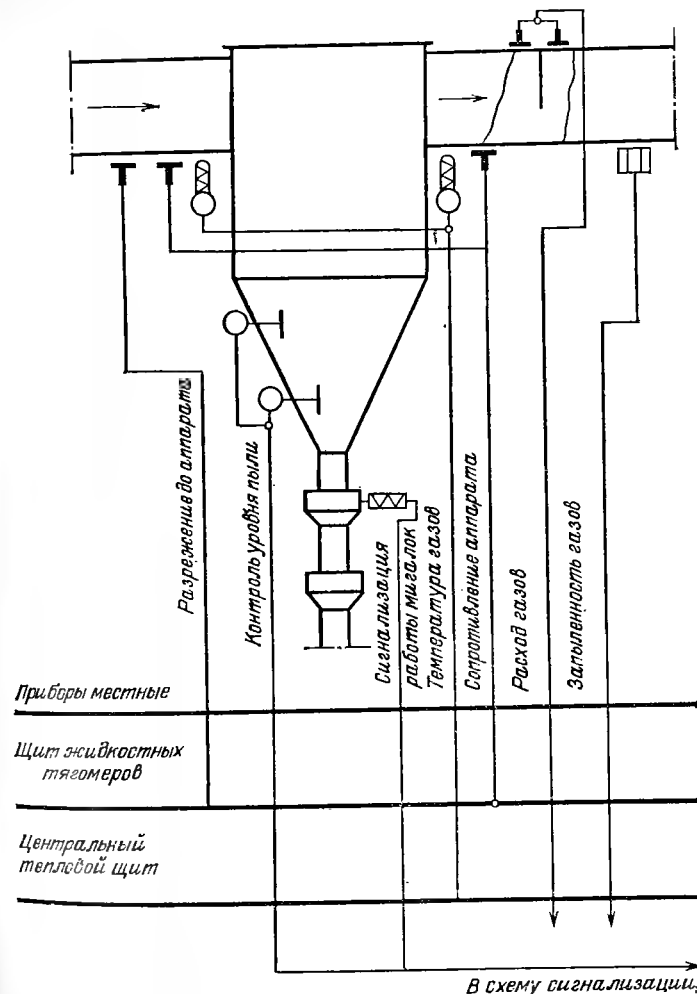


Рис. 2.36. Схема технологического контроля работы батарейного циклона

конических частях (рис. 2.37). На внутренней поверхности корпусов вначале образуются спиральные канавки, располагающиеся в цилиндрической части непосредственно у кромок винтовых закручивающих лопастей или розеток, а в конической — в местах образования наиболее концентрированного пылевого вихря.

Образование канавок и стачивание торцов увеличивают зазор между спиралью и корпусом, в результате чего к.п.д. элемента заметно снижается. Образующиеся в корпусе сквозные отверстия создают вредные перетоки газа между элементами и нарушают их аэродинамические

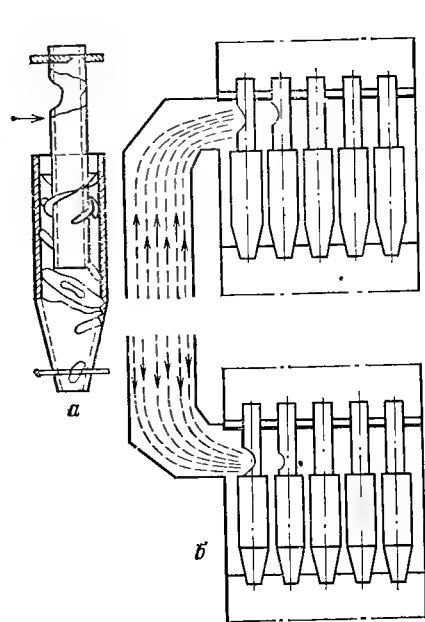


Рис. 2.37. Характер износа батарейных циклонов:

а — износ элементов; б — износ выхлопных труб

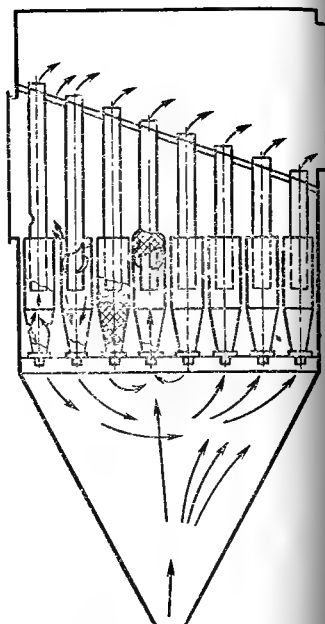


Рис. 2.38. Схема вредных перетоков газа в батарейном циклоне

характеристики (рис. 2.37, а). Интенсивность износа выхлопных труб (рис. 2.37, б) зависит в основном от скорости газа. Износ труб пропорционален скорости в третьей степени. Однако, поскольку неравномерность полей концентрации и скорости, как правило, увеличивается при повышении скорости газа, а также учитывая, что при этом возрастает вероятность ударов частиц о трубы, можно сделать вывод о том, что интенсивность износа в значительной степени зависит от скорости газа. Это необходимо учитывать при выборе типоразмера батарейных и одиночных циклонов.

Одним из наиболее эффективных способов борьбы с износом является снижение скорости газа путем увеличения количества циклонных элементов. Заметного эффекта можно достичь при полной ликвидации подсосов в газовых трактах, понижении температуры газов и т. п.

Эффективность метода борьбы с износом путем снижения скорости газов можно показать на примере Докучаевского флюсо-доломитного комбината, где шесть циклонов типа ЦН-24 diam. 1200 мм использовались для предварительной очистки дымовых газов вращающейся печи для обжига доломита (90×3,6 м). В связи с высокой скоростью газов (5,5 м/с) конусные части циклонов подвергались абразивному износу. После увеличения числа циклонов до восьми скорость газов не превышала 4 м/с и случаев износа не наблюдалось [2].

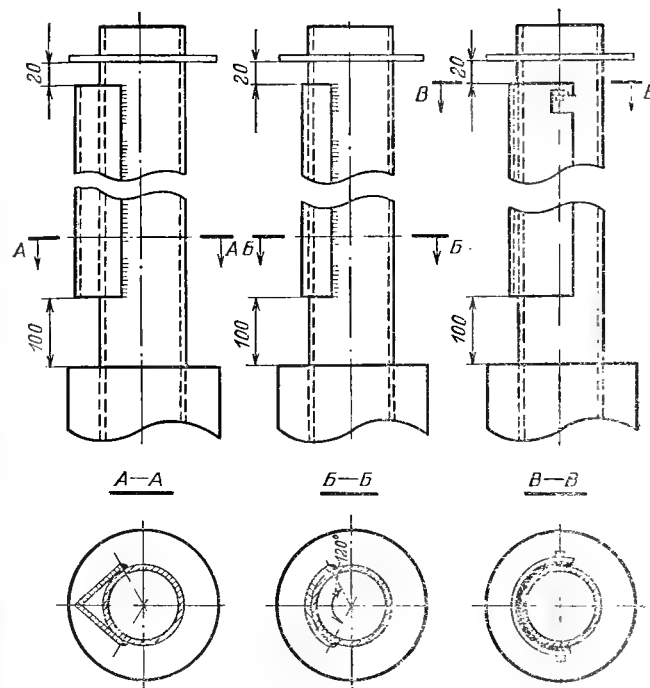


Рис. 2.39. Защита выхлопных труб

Для увеличения срока службы циклонов при улавливании абразивных пылей применяют литой базальт и другие материалы.

Вредные перетоки газа и подсосы (рис. 2.38) в батарейных циклонах являются одной из распространенных причин, снижающих эффективность пылеулавливания. Перетекание газов внутри общего бункера из одних элементов в другие возможно в результате различного гидравлического сопротивления отдельных элементов.

При нарушении нормального газораспределения особенно увеличиваются перетоки от пылевыводящих отверстий элементов первых рядов к последним. При этом в тех элементах, где подсос увеличивается, происходит снижение эффективности очистки вследствие захвата восходящим газовым потоком сыпучей в бункер пыли. И, наоборот, при большем отводе газов из циклонного элемента в бункер степень очистки несколько возрастает. Но, поскольку снижение степени очистки

из-за увеличения подсоса происходит более резко, чем повышение эффективности при увеличении отвода газа, описанные выше явления служат причиной общего снижения к. п. д. аппарата.

Для предотвращения вредных перетоков газа необходимы правильное изготовление и монтаж элементов. Недопустима установка в одном батарейном цикле направляющих аппаратов типа «Розетка» с разными углами наклона или типа «Винт» с разным шагом спиралей. Следует стремиться к минимальному числу рядов элементов по ходу газа. Если оно превышает восемь, то в бункере рекомендуется устанавливать поперечную перегородку.

Отложение пыли наблюдается при снижении расхода газа до 60 % по сравнению с нормальным, так как в этом случае ухудшается эффект самоочистки. Такое же явление может иметь место в «мертвых» зонах при неправильном подводе и отводе газов. В последнем случае часто забивается также соответствующая часть межтрубного пространства распределительной камеры, в особенности в области последних рядов, где высота камеры небольшая.

При улавливании абразивных пылей защита первых рядов выхлопных труб элементов батарейного циклона достигается путем приварки к ним защитных щитков (рис. 2.39) или установки двух—трех рядов холостых труб [38].

Для своевременного выявления дефектов, которые могут возникнуть в процессе эксплуатации, оперативный персонал должен каждую смену проводить наружные осмотры установок батарейных циклонов. При осмотрах прежде всего проверяют работу пылевыгрузных устройств (мигалок затворов).

При легком обстукивании по звуку проверяют течку и горловину бункера. Забивание течки можно также обнаружить с помощью U-образного манометра, присоединив его к штуцеру для замера разрежений, вваренному в течку.

Глава 3 ФИЛЬТРЫ

3.1. КЛАССИФИКАЦИЯ ФИЛЬТРОВ

Процесс фильтрации через пористые перегородки можно рассматривать как сочетание механизмов инерционного столкновения, перехвата и диффузии. На эффективность процесса фильтрации оказывают влияние гравитационные, тепловые и электрические силы. Мелкие волокна по сравнению с крупными обеспечивают более высокую эффективность процесса, так как они характеризуются более высокими параметрами инерционного столкновения и перехвата, а также большей общей площадью поверхности на единицу объема, что создает благоприятные условия для диффузии. При плотной набивке волокон эффективность улавливания повышается за счет благоприятных интерференционных воздействий волокон. Однако очень плотная набивка приводит к резкому повышению гидродинамического сопротивления.

Эффективность процесса фильтрации, особенно для частиц пыли размером до 1 мкм, в значительной степени зависит от их электрической заряженности: наличие разноименных зарядов на частицах или волокон повышает эффективность фильтрации. И, наоборот, если заряды частиц пыли и волокон однонаправлены и сила, возникающая в результате

отталкивания, превышает поляризационные силы притяжения, эффективность процесса фильтрации снижается [22].

Предварительная зарядка частиц и наложение электрического поля изменяют структуру формирующегося на ткани пылевого слоя, который имеет шероховатую поверхность, становится более рыхлым, частицы образуют разветвленные цепи, так называемые дендриты. Такой слой оказывает меньшее сопротивление проходящему газопылевому потоку и в большинстве случаев повышает степень очистки. Однако при повышенном влагосодержании (до 70 %) и высоких скоростях газопылевого потока (до 6 м/мин) этот эффект проявляется слабее [39]. Осажденные в объеме фильтрующего материала или накопленные на его поверхности частицы служат для вновь поступающих частиц составным элементом фильтрующей среды, повышающим степень очистки. Однако по мере накопления частиц газопроницаемость фильтрующего материала уменьшается, поэтому периодически требуется регенерация материала или его замена. При улавливании жидких частиц накапливающаяся жидкость удаляется из пористой перегородки самопроизвольно.

Применяемые в современных аппаратах фильтрующие пористые перегородки по своей структуре весьма разнообразны, но в большинстве своем они состоят из волокнистых или зернистых элементов, которые условно могут быть разделены на следующие типы.

Гибкие пористые перегородки: тканевые материалы из природных, синтетических и минеральных волокон; нетканые волокнистые материалы (войлок, клееные и иглопробивные материалы, бумага, картон, волокнистые маты); ячеистые листы (губчатая резина, пенополиуретан, мембранные фильтры).

Полужесткие пористые перегородки: слои волокон, стружка, вязальные сетки, расположенные на опорных устройствах или зажатые между ними.

Жесткие пористые перегородки: зернистые материалы — пористая керамика и пластмасса, спеченные или спрессованные порошки металлов (металлокерамика), пористые стекла, углеграфитовые материалы и др.; волокнистые материалы — сформированные слои из стеклянных и металлических волокон; металлические сетки и перфорированные листы.

Зернистые слои: неподвижные, свободно насыпанные материалы; периодические или непрерывно перемещающиеся материалы.

В зависимости от назначения и допустимой пылевой нагрузки современные фильтры условно разделяются на воздушные, промышленные и др. **Воздушные** фильтры предназначены для обеспыливания атмосферного воздуха в системах приточной вентиляции; кондиционирования и воздушного отопления производственных, служебных и общественных зданий; подачи воздуха на технологические нужды; воздушного охлаждения газотурбинных установок, подстанций агрегатов питания электрофильтров [40—43]. По эффективности воздушные фильтры делятся на три класса (табл. 3.1).

Устройство и принцип действия воздушных фильтров изложены в работе [42].

Промышленные (тканевые, зернистые, грубоволокнистые) фильтры

ТАБЛИЦА 3.1
ОСНОВНЫЕ КЛАССЫ
ВОЗДУШНЫХ ФИЛЬТРОВ [43]

Класс	Размеры улавливаемых частиц, мкм	Эффективность очистки, %
III	10—50	60
II	>1	85
I	Все	99

применяются для очистки промышленных газов в основном с высокой концентрацией дисперсной фазы (до 60 г/м^3). Для периодического или непрерывного удаления накапливающейся в фильтрующей перегородке пыли фильтры этого класса имеют устройства для регенерации, позволяющие поддерживать производительность на заданном уровне и возвращать ценные продукты в производство; фильтры этого класса нередко являются составной частью технологического оборудования.

3.2. ФИЛЬТРЫ-ТУМАНОУЛОВИТЕЛИ

Отличительной особенностью волокнистых фильтров-туманоуловителей являются коалесценция уловленных жидких частиц при контакте с поверхностью волокон и образование на них пленки жидкости, удаляющейся по мере накопления из слоя в виде струек или крупных капель, перемещающихся внутри слоя и с тыльной стороны под действием сил тяжести, а также увлечения газовым потоком или капиллярных сил. При этом обычно не требуется никаких механических воздействий на фильтрующие слои, т. е. фильтры работают с постоянным сопротивлением в стационарном режиме саморегенерации (самоочищения).

Выгодно отличаясь по многим параметрам от электрофильтров и скрубберов Вентури, волокнистые фильтры обладают существенным недостатком — возможностью зарастания при наличии в тумане значительного количества твердых частиц и при образовании в слое нерастворимых отложений солей (CaSO_4 , CaCO_3 , CaF_2 , CaSO_3 и др.) за счет взаимодействия солей жесткости воды с газами (CO_2 , SO_2 , HF и др.).

Несмотря на указанные недостатки, эти аппараты характеризуются высокой степенью очистки, надежностью в работе, простотой конструкции, монтажа и обслуживания, а главное возможностью обеспечения очистки тонкодисперсных туманов до любой остаточной концентрации. Поэтому в ряде случаев туманоуловители являются незаменимыми, а иногда единственными аппаратами для тонкой очистки газов от туманов в технологических процессах получения серы и термической фосфорной кислоты, концентрирования различных кислот и солей упаркой, производства хлор-газа, испарения масел и других органических жидкостей.

В качестве туманоуловителей широко применяются волокнистые самоочищающиеся фильтры, снаряжаемые слоями из стеклянных, синтетических и металлических волокон, а также пакетами вязанных металлических или синтетических сеток. Улавливание жидких частиц сопровождается сложными вторичными процессами в слое, в результате чего структура его существенно изменяется. Захваченные волокнами капельки растекаются по их поверхности с образованием пленки, толщина которой увеличивается, становится неустойчивой и распадается на отдельные капли, которые скатываются по волокнам в места изгибов и скрещивания волокон под действием сил тяжести и лобового трения в потоке газов. Кроме того, происходит миграция жидкости в пленках на волокнах из малых капель.

Вследствие действия капиллярных сил соседние волокна могут слипаться, в результате исчезают отдельные мелкие волокна в недостаточном упругих материалах и образуются более крупные поры. В то же время часть мелких пор заполняется жидкостью, что приводит к увеличению истинной скорости газов в более крупных порах слоя. Таким образом, накопление жидкости приводит к значительному изменению строения волокнистого слоя, вызывая падение эффективности улавливания частиц и рост сопротивления фильтра. Непрерывный рост сопротивления и падение эффективности по мере накопления жидкости

продолжаются до тех пор, пока фильтрующий слой не войдет в стационарный режим самоочищения. После этого количество жидкости, удерживаемой в слое и стекающей из него, остается постоянным во времени при неизменных параметрах скорости фильтрации и концентрации веществ.

Структура слоя в основном обуславливает локальное накопление жидкости и формирование определенных путей и скорости вывода ее из слоя. Капиллярные силы не только удерживают жидкость в слое, но и перемещают ее по слою в места с наибольшей плотностью упаковки волокон. Чем больше плотность упаковки слоя и меньше диаметр волокон, тем большее количество жидкости удерживается в слое.

В рыхлых материалах из тонких и неупругих волокон диаметром менее 5 мкм происходит сильное насыщение слоя. При этом образуются крупные капельки — возникает генерация вторичного аэрозоля. Образование многочисленных пузырьков на тыльной поверхности и в глубине тонковолокнистого слоя и их разрыв приводят к образованию мелких частиц, уносимых газом. В результате сопротивление очень резко возрастает, а эффективность очистки падает, и только снижение насыщенности жидкостью слоя может привести к уменьшению выходной концентрации. Этого можно добиться уменьшением входной концентрации и скорости фильтрации, использованием толстых и пористых слоев с более крупными и упругими волокнами в слое, вертикальным расположением слоя, однонаправленной упаковкой волокон в слое, а иногда и принудительным отводом жидкости из замыкающего слоя [44].

При улавливании туманов растворов солей решающее влияние на фазовое состояние солевого аэрозоля может иметь относительная влажность газа. Если она больше равновесной влажности над насыщенным раствором, твердые кристаллы солей на волокнах не образуются, если ниже равновесной, то на волокнах возникает плотная быстро растущая солевая оболочка. В подобных случаях в газы добавляется мятый пар, распыленная жидкость или сам слой орошается из форсунок. Волокнистые фильтры-туманоуловители подразделяются на три типа [44]:
низкоскоростные ($w \leq 0,2 \text{ м/с}$), снаряжаемые волокнами диаметром $5\text{—}20 \text{ мкм}$ и предназначенные для улавливания субмикронных частиц за счет броуновской диффузии и эффекта зацепления; эффективность их увеличивается с уменьшением скорости фильтрации, размера частиц и диаметра волокон;

высокоскоростные ($w \geq 0,5\text{—}1,2 \text{ м/с}$) со слоем грубых волокон диаметром $20\text{—}100 \text{ мкм}$, служащие для выделения из газа частиц крупнее 1 мкм за счет механизма инерционного осаждения, эффективность которого возрастает с увеличением размера частиц и скорости фильтрации до определенной (критической) величины (обычно $1\text{—}2,5 \text{ м/с}$), при которой начинается вторичный брызгонос уловленной жидкости из слоя в виде крупных капель;

многоступенчатые, состоящие из $2\text{—}3$ фильтров второго и первого типов, в которых первая ступень работает при скоростях выше критической и является укрупнителем улавливаемых капель при высоких входных концентрациях тумана [45].

Низкоскоростные фильтры. Для снаряжения низкоскоростных фильтров оптимальной является смесь волокон с определенным соотношением грубых и тонких. Глубокие упругие волокна обеспечивают равномерное объемное распределение более тонких, увеличивают скорость вывода жидкости из слоя, придают слою механическую прочность и стабильность, обеспечивая возможность работы более тонким волокнам по всей глубине слоя. Обычно применяются слои из смеси волокон диаметром от 5 до 20 мкм с пористостью $88\text{—}92 \%$ и толщиной от $0,01$ до $0,10 \text{ м}$. Иногда используются волокна размером от 8 до 15 мкм

ТЕХНИЧЕСКИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ ТУМАНООУЛОВИТЕЛЕЙ ФИРМЫ
«МОНСАНТО» США [43]

Показатели	Низкоскоростной, высокоэффективный	Высокопроизводительный	Высокоскоростной	Брызгоуловитель
Условный шифр	Н—Е	Н—Р	Н—V	S—C
Скорость фильтрации, м/с . . .	0,05—0,2	1,1—1,3	2,1—2,5	2,5
Эффективность очистки по частицам, %:				
$d_n > 3$ мкм . . .	100	100	100	100
$d_n = 1 \div 3$ мкм . . .	98—100	95—100	85—97	26—70
$d_n < 1$ мкм . . .	92—98	75—95	50—85	10—25
Сопротивление, кПа	1—5,0	2—2,5	1,5—2,0	0,25—0,5
Форма элементов	Цилиндрическая		Прямоугольная	
Габариты, мм:				
диаметр (ширина)	216; 450; 610	650	470	470
высота	610—3050	1200, 1800	660 и 1370	660 и 1370
Толщина слоя, мм	50	50	25—30	25—30
Диаметр волокон, мкм (ориентировочно) . . .	6—15	10—20	10—30	30—80

толщиной слоя 50 мм. Характерная конструкция низкоскоростного фильтрующего элемента приведена на рис. 3.1.

Элемент состоит из двух соосно расположенных цилиндрических секток из проволоки диаметром 3,2 мм, приваренных к дну и входному патрубку-фланцу. Пространство между сетками заполнено волокном, дно элемента оборудовано трубкой, погруженной в стакан-гидрозатвор, из которого уловленная жидкость перетекает в корпус аппарата. На опорной трубной решетке в корпусе фильтрующие элементы крепятся через прокладку шпильками и гайками.

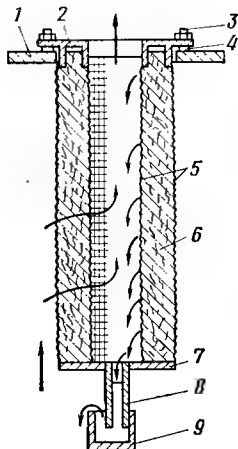


Рис. 3.1. Цилиндрический фильтрующий элемент:

1 — опорная трубчатая перегородка; 2 — уплотняющий патрубок — фланец; 3 — шпилька; 4 — прокладка; 5 — сетка; 6 — стекловолоконный слой; 7 — динще; 8 — трубка гидрозатвора; 9 — стакан

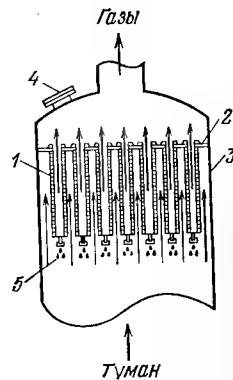


Рис. 3.2. Размещение фильтрующих элементов в абсорбционной сернокислотной башне:

1 — элементы; 2 — опорная решетка; 3 — корпус; 4 — монтажный лок; 5 — уловленная кислота

В зависимости от производительности установок в одном корпусе может монтироваться от 1 до 50—70 элементов. На существующих сернокислотных заводах такие элементы часто устанавливаются в отдельном корпусе, а в новых цехах — в верхних частях абсорберов (производительности до 170 тыс. м³/ч) (рис. 3.2). Наиболее распространены за рубежом являются туманоуловители и брызгоуловители, выпускаемые фирмой «Монсанто» (США) и установленные на ряде предприятий СССР. В табл. 3.2 приведены основные характеристики стекловолоконных фильтрующих элементов.

Для изготовления волокон применяются специальные стекла, устойчивые к воздействию концентрированных и разбавленных кислот. Для снаряжения также используются синтетические волокна из полипропилена, полиэфиров, поливинилхлорида, фторопласта и других полимеров, причем сопротивление и коэффициент проскока частиц у таких фильтров в режиме самоочистки ниже, чем у фильтров из гидрофильных стеклянных волокон.

В качестве конструкционных материалов в элементах применяются армированные пластики, нержавеющая сталь, а при температурах выше 50 °С — легированные молибдены стали. Максимально допустимая температура для фильтров из стекловолокна 400 °С. Низкоскоростные волокнистые фильтры могут снаряжаться следующими видами стекловолокна: фильтровальными стекловолоконными пакетами ФСП (ТУ 6—11—363—75) и нетканым объемным материалом МЧПС (ТУ 6—11—339—74); теплоизоляционными рулонами марки Б (ГОСТ 10499—67) с диаметром волокон 6—13 мкм [46].

Высокоскоростные туманоуловители. С повышением скорости фильтрации размеры волокнистых фильтров-туманоуловителей уменьшаются, снижается и стоимость аппаратов. При этом определяющим механизмом осаждения частиц становится инерционный, эффективность проявления которого резко растет с увеличением скорости фильтрации. Высокоскоростные тумано-брызгоуловители выполняются в виде плоских элементов (рис. 3.3). В установках большой производительности они монтированы в многогранный опорный каркас, имеющий снизу поддон конической формы, в который стекает уловленная жидкость. Снижение проектной скорости фильтрации в этих фильтрах более чем на 20—30 % сопровождается резким падением эффективности очистки.

Иглопробивной способ формирования слоев из полимерных волокон позволяет получать фильтрующие материалы, имеющие благоприятное строение применительно к улавливанию туманов при низких и высоких скоростях фильтрации [47]. Волокна в этих материалах не только располагаются и сцепляются в плоскости слоя, но и переплетаются между отдельными слоями, образуя объемную однородную структуру, очень устойчивую к механическим воздействиям в трех направлениях, упругую и стабильную в мокром состоянии. Эти материалы называются войлоками. Толщина материала изменяется от 3 до 12 мм, масса 1 м^2 — от 0,2 до 1,0 кг. Войлоки выпускаются промышленностью в соответствии с ТУ 17 РСФСР 3941—76 и ТУ 17—14—77—79 из волокон диаметром 20, 30, 50 и 75 мкм.

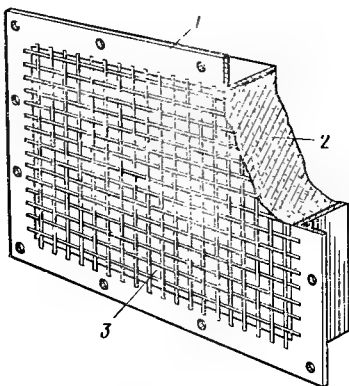


Рис. 3.3. Элемент высокоскоростного фильтра:

1 — корпус с фланцем; 2 — стекловолокно; 3 — сетка

устойчиво работают волокна из фторина, специальных сортов стали и стекла [47].

Двухступенчатые фильтры-туманоуловители

Эти установки состоят из орошаемого форсунами брызгоуловителя в качестве первой ступени и низкоскоростного фильтра-туманоуловителя в качестве второй ступени. Разработаны два основных типа двухступенчатых волоконистых туманоуловителей, различающихся между собой функциями, которые выполняются ступенями. В одном типе установок в первом по ходу газа фильтре улавливаются крупные частицы и несколько снижается концентрация тумана. Во втором фильтре (обычно низкоскоростном) осуществляется тонкая очистка тумана от высокодисперсных частиц, не уловленных в первой ступени. В другом типе установок первая ступень является агломератом для улавливания частиц всех размеров, а уловленная жидкость выносятся потоком газа в виде крупных капель, поступающих во второй фильтр-брызгоуловитель. Конструктивно обе ступени фильтра размещаются в едином корпусе.

Область применения двухступенчатых установок: улавливание аэрозолей растворимых аммонийных солей (аммиачной селитры) от нейтрализаторов и грануляционных башен.

Двухступенчатые полипропиленовые фильтры применяются для улавливания тумана на операции упарки гидролизной серной кислоты, в установках с погружным горением в производстве пигментной дву-

окиси титана. В данном случае в тумане содержится большое количество твердых примесей (сажа, смолистые, соли сульфата железа и др.). Поэтому фильтры оснащены форсунками для периодической промывки материала. Промывная вода подается под давлением 0,15—0,2 МПа с расходом 0,1—0,2 $\text{м}^3/\text{м}^2$ в течение 0,5—2 мин. Регенерация производится один раз в смену без отключения газа. Первая ступень снаряжается войлоком из волокон $d_{\text{в}}=75$ мкм, скорость фильтрации 5,5—8 м/с. Вторая ступень состоит из цилиндрических или конических элементов, снаряженных иглопробивным войлоком из волокон diam. 30—35 или 18—20 мкм и работающих при низких скоростях фильтрации.

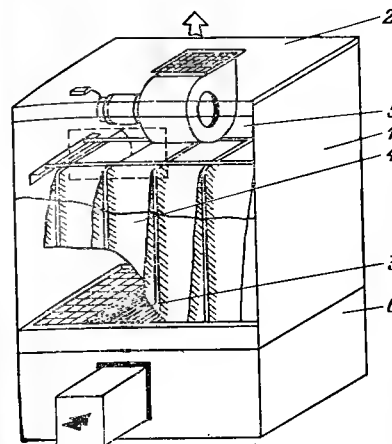


Рис. 3.4. Низкоскоростной двухступенчатый туманоуловитель:

1 — корпус; 2 — крышка с вентилятором; 3 — первая ступень очистки; 4 — вторая ступень очистки; 5 — откидная дверца; 6 — масляный сборник

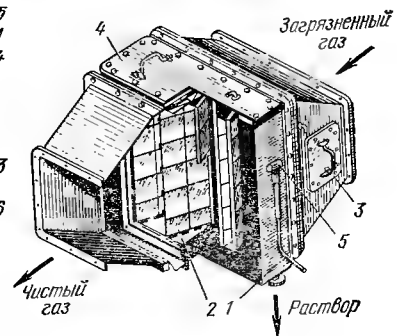


Рис. 3.5. Волокнистый фильтр ФВГ-Т:

1 — корпус; 2 — кассета с фильтрующим материалом; 3 — люк для промывки; 4 — люк для смены кассеты; 5 — форсунка для промывки шлангом

Сопротивление установки 3—7 кПа, эффективность очистки 85,4—99,8 %. Входная концентрация тумана 52—124 $\text{г}/\text{м}^3$ (в расчете на 10 % H_2SO_4), температура газов 80—85 °С.

Полипропиленовые материалы можно успешно применять для технологической и санитарной очистки туманов термической фосфорной кислоты, получаемой путем сжигания желтого фосфора. На рис. 3.4 показан низкоскоростной двухступенчатый туманоуловитель. На первой ступени установлен грубоволокнистый высокопористый слой, работающий в инерционном режиме, а в качестве второй ступени использованы карманные элементы из стекловолоконного клееного полотна из волокон диаметром 3—5 мкм.

Грубоволокнистые фильтры с периодической или непрерывной промывкой применяются для очистки тумана и улавливания брызг растворов кислот, солей и щелочей на операциях травления металлических изделий и гальванопокрытий [48]. На рис. 3.5 показан фильтр ФВГ-Т, предназначенный для очистки аспирационного воздуха от частиц хромовой и серной кислот на ваннах электрохимического хромирования. В табл. 3.3 даны параметры типоразмерного ряда фильтров ФВГ-Т. Ниже приведены технические характеристики фильтров ФВГ-Т.

Температура очищаемого газа, °С	5—90
Разрежение в аппарате (не более), Па	700
Газодинамическое сопротивление, Па	150—500
Степень очистки воздуха, %	96—99
Рекомендуемая скорость фильтрации, м/с	3—3,5
Расход воды на разовую промывку 1 м ² поверхности, л	200—300
Давление промывной воды, кПа	100—200
Время промывки, мин	10—15

Волокнистые самоочищающиеся фильтры используются на металлургических заводах для очистки масляных туманов, образующихся при работе металлообрабатывающих станков в результате применения смазочно-охлаждающих жидкостей. Наряду с низкоскоростными и высокоскоростными фильтрами, устройство которых аналогично описан-

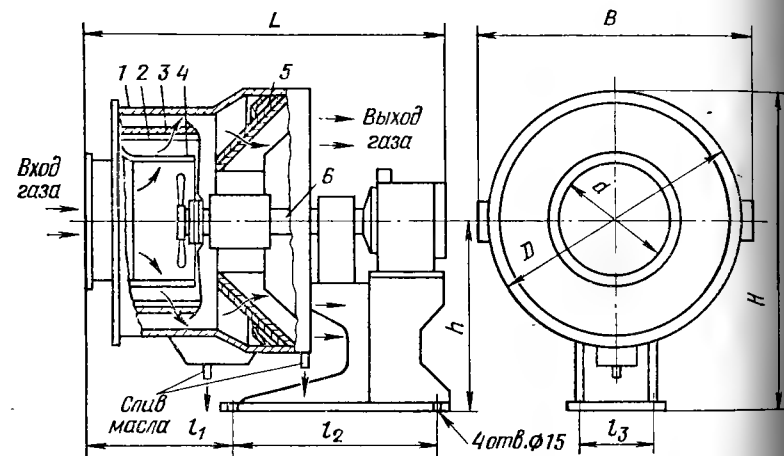


Рис. 3.6. Ротационный фильтр типа ФРМ для улавливания масляного тумана: 1 — корпус; 2 — фильтрующий материал; 3 — перфорированный барабан; 4 — вентиляторное колесо; 5 — брызгоуловитель; 6 — вал

ным выше конструкциям, разработаны специальные аппараты с вращающимся цилиндрическим фильтрующим элементом, что обеспечивает высокую эффективную непрерывную центробежную регенерацию слоя от уловленного масла [49].

На рис. 3.6 показан фильтр-вентилятор типа ФРМ, состоящий из цилиндрического корпуса, в котором вращается перфорированный ротор с укрепленным на его дне вентиляторным колесом. Изнутри ротор облицован фильтрующим материалом. Ротор укреплен на оси электродвигателя и вращается с частотой около 3000 об/мин. В корпусе за ротором установлен в виде кольца волокнистый брызгоуловитель. Производительность ротационных туманоуловителей составляет от 750 до 2000 м³/ч, эффективность очистки 85—94 %.

Ниже приведены технические характеристики типоразмерного ряда ротационных фильтров типа ФРМ, выпускаемых Семибратовским заводом газоочистительной аппаратуры.

ТАБЛИЦА 3.3

ХАРАКТЕРИСТИКА ТИПОРАЗМЕРНОГО РЯДА ФИЛЬТРОВ ФВГ-Т [46]

Типоразмер фильтра	Производительность, м ³ /ч	Площадь фильтрующей поверхности, м ²	Габаритные размеры (не более), мм			Масса, кг		
			исполнение I	исполнения VI и IX	исполнения VII и VIII	I исполнения	IIA и IIA исполнения	XI и IIA исполнения
ФВГ-Т-0,37	3500—5000	0,37	1150×560×755	1290×560×755	1290×560×755	62	67; 69	66; 68
ФВГ-Т-0,74	7000—10 000	0,74	1110×810×755	1335×810×755	1335×810×755	77	81; 86	83; 87
ФВГ-Т-1,6	14 000—20 000	1,6	1150×870×960	1565×970×965	1565×970×1000	87	180; 116	108; 116
ФВГ-Т-3,2	28 000—40 000	3,2	1410×1930×975	1905×1930×975	1905×1930×1010	187	201; 239	218; 234
ФВГ-Т-6,4	60 000—80 000	6,4	1670×1930×1805	2625×1930×1805	2625×1930×1815	278	367; 409	365; 405

Примечание. Комплект поставки: фильтр в сборе, вентилятор для фильтра в комплект поставки не входит. Изготовитель: Семибратовский экспериментальный завод газоочистительной аппаратуры (пос. Семибратово Ярославской обл.).

ХАРАКТЕРИСТИКА СЕТОЧНЫХ ТУМАНООУЛОВИТЕЛЕЙ (СТАЛЬНЫЕ СЕТКИ)

	ФРМ № 2	ФРМ № 2,5	ФРМ № 2,5А
Код общесоюзного классификатора продукции		36 4672 1003	—
Производительность по воздуху, м ³ /ч	750	1300	2000
Температура отсасываемого воздуха, °С	< 60	< 60	< 60
Мощность электродвигателя, кВт	1,5	3	5,5
Частота вращения ротора, об/мин		2850	
Габаритные размеры, мм	790×445×600	840×555×660	990×655×770
Масса, кг	114	135	190

Габаритные и присоединительные размеры, мм:

	L	B	H	l ₁	l ₂	l ₃	h	D	d
ФРМ № 2	790	840	990	217	455	230	380	440	160
ФРМ № 2,5	445	555	655	250	455	230	380	554	200
ФРМ № 2,5А	600	660	770	305	498	350	440	654	250

Сеточные туманобрызгоуловители. Для очистки грубодисперсных туманов и улавливания брызг применяются каплеуловители, состоящие из пакетов вязанных металлических сеток, которые при высокой нагрузке по улавливаемой жидкости и большой скорости потока устойчиво сохраняют форму и размеры ячеек. Сетки трикотажного переплетения изготавливаются из проволоки диаметром 0,2—0,3 мм, материалом для них служат легированные стали (мягкие сорта), монель-металл, сплавы на основе титана или других коррозионноустойчивых металлов, а также фторопластовое и полипропиленовое моноволокно (леска). Размеры ячеек составляют от 5 до 13 мм.

Сетка в виде рукавов диаметром около 90 мм, связанных на специальных станках типа круглоуловочных машин, выпускается Саратовским заводом «Нефтемаш» и Волгоградским сталепроволочно-канатным заводом им. 50-летия СССР. Масса 1 м рукава, связанного из проволоки 0,3 мм, около 50 г.

Перед применением в сеточных тумануловителях сетчатый рукав разрезают вдоль, разворачивают и гофрируют для получения V-образных гофр высотой от 5 до 10 мм. Для получения максимальной пористости слоя гофрированные сетки укладывают в пакеты так, чтобы гофры соседних слоев сетки не совпадали. Толщину пакетов выбирают в пределах от 50 до 300 мм.

Машина для автоматической резки рукава, гофрировки полученной ленты и формирования из нее фильтрующего пакета разработана институтом «Гипробiosинтез».

Для аппаратов диаметром менее 2 м сетки свертывают в цилиндрические сплошные элементы. Для установки внутри выпарных аппаратов и скрубберов большого диаметра пакеты изготавливаются стандартных размеров и формы, что позволяет вести их монтаж через люки (рис. 3.7). Пакеты укладывают на легкий каркас из уголка полосовой или круглой стали, а сверху помещают опорный каркас. В некоторых случаях сеточные сепараторы устанавливают вне технологических аппаратов в отдельном сосуде.

В зависимости от условий работы используются пакеты различной плотности (табл. 3.4).

Для повышения эффективности улавливания тумана предусматриваются две ступени сеточных сепараторов. На нижней ступени уста-

Назначение тумануловителей	Пористость, %	Удельная поверхность поверхности проволоки, м ² /м ³	Плотность упаковки, кг/м ³
Тумануловители общего назначения	98	330	160
Тумануловители: для чистой жидкости при средней скорости фильтрации	97,5	400	182
для загрязненной жидкости при большой скорости фильтрации	99	200	96
для загрязненной жидкости с твердыми частицами при большой скорости фильтрации	98,5	230	112

навливают пакеты с более мелкими ячейками и повышенной плотностью (до 224 кг/м³), которые действуют как укрупнители капель; пакеты второй ступени имеют низкую плотность (96—112 кг/м³). Различная плотность упаковки достигается применением сеток с различными высотами гофр и величиной ячеек в сетках. В нижнем пакете поддерживается режим затопления. При этом улучшается промывка пара или газа, увеличивается скорость движения капель и их инерционный захват расположенными выше сетками пакета. Практически установлено, что эффективность улавливания тумана на смоченных сетках более высокая, чем на сухих. Расстояние между ступенями обычно составляет около 3/4 диаметра колонны.

Осажденные на проволоке капли в виде пленки перемещаются к точкам перекрещивания проволоки, где образуются крупные капли, способные под действием силы тяжести преодолеть силы поверхностного натяжения и аэродинамического сопротивления восходящего потока и упасть на нижние слои сеток навстречу потоку газов (пара). Подобная картина наблюдается до определенных значений нагрузок по газам (пару) и жидкости. При некоторой скорости движения газов (пара) жидкость заполняет большую часть свободного объема слоя насадки и часть ее захватывается проходящими газами, т. е. возникает вторичный унос. Максимально допустимой

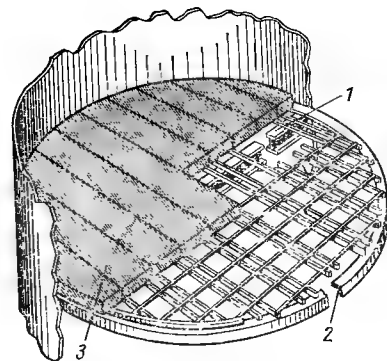


Рис. 3.7. Сеточный сепаратор для аппаратов большого диаметра [22]:

1 — опорное кольцо из уголка 75×75 мм; 2 — дополнительная опора; 3 — фильтровальный материал

СРАВНИТЕЛЬНАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА ТУМАНОУЛОВИТЕЛЕЙ [44]

Тип туманоуловителя	Скорость газа в активной зоне, м/с	Эффективность очистки, % частиц размером, мкм			Гидравлическое сопротивление, кПа
		до 1	1—3	3—10	
Электрофильтры	0,3—1,5	75—95	90—99	98—100	0,1—0,3
Скрубберы Вентури	50—150	90—97	95—100	98—100	5,0—20,0
Волокнистые фильтры:					
низкоскоростные	0,01—0,1	92—99	96—100	100	0,5—5,0
высокоскоростные	1—10	50—85	85—97	95—100	1,5—8,0
Сетчатые пакеты	2,5—4,5	20—40	70—90	90—98	0,2—1,0

считается нагрузка, при которой не наблюдается вторичного уноса жидкости; этой нагрузке соответствует максимальная эффективность сепарации.

Допустимая скорость движения газов (пара) составляет 0,9—6 м/с. Следует отметить, что высокая эффективность сепарации сточных каплеуловителей сохраняется в диапазоне изменения скорости движения газов (пара) от 30 до 110 % оптимальных значений; при этом максимальная концентрация жидкой фазы в парах (газах) не должна превышать 100—120 г/м³. Гидравлическое сопротивление смоченных сеток при исходной концентрации жидкости менее 5 г/м³ в 1,5—2 раза выше, чем сопротивление сухих сепараторов.

Снижение эффективности каплеуловителей может быть вызвано высокой дисперсностью капель или плохой герметизацией пакетов в местах, прилегающих к стенкам. При использовании более тонких проволок при изготовлении сеток, а также при более высоких плотностях их упаковки эффективность каплеуловителей снижается, так как тонкие проволоки плохо удерживают капли, а малые размеры промежутков между проволоками способствуют увеличению вторичного уноса жидкости в виде мелких капель.

Широкое применение сеточных каплеуловителей позволяет повысить качество получаемых продуктов, увеличить производительность аппаратов или уменьшить их габариты при проектировании, уменьшить потери ценных продуктов и предотвратить загрязнение атмосферы. Например, в испарителях морской воды при высокой скорости процесса можно получить конденсат, содержащий менее 0,1 мг/м³ твердого вещества. Успешно применяются сеточные туманоуловители в выпарных аппаратах в производствах вискозного волокна, целлюлозы, глицерина, сахара, радиоактивных препаратов, всех видов неорганических солей и других продуктов, а также в различных скрубберах и абсорберах в качестве брызгоуловителей. В табл. 3.5 приведены сравнительные характеристики промышленных аппаратов, используемых в качестве туманоуловителей.

3.3. ТКАНЕВЫЕ ФИЛЬТРЫ

Общие положения

Фильтрация запыленных промышленных газов и аспирационного воздуха в тканевых фильтрах является радикальным техническим решением для достижения эффективного пылеулавливания при относительно умеренных капитальных и эксплуатационных затратах. Возросшие требования к степени очистки газов выявили тенденцию к увеличению доли применяемых аппаратов фильтрации по сравнению с аппаратами мокрой очистки газов и электрофильтрами. Так, в ФРГ доля газов, обрабатываемых методом фильтрации, возросла с 17 % в 1965 г. до 35 % в 1978 г. [50].

Развитие техники фильтрации направлено в основном по двум путям: создание способов регенерации для фильтровальных материалов войлочного типа, позволяющих работать при повышенной скорости с сохранением эффективности пылеулавливания, и разработка новых видов фильтровальных материалов, прежде всего войлочного типа, позволяющих снизить гидравлическое сопротивление, повысить производительность аппаратов по газу и увеличить срок службы фильтровальных элементов. При конструировании фильтров проявляется тенденция к модульному исполнению аппаратов, упрощающему их монтаж, изготовление и транспортирование, а также к компактному размещению фильтровального материала в объеме аппарата при облегчении доступа к фильтровальным элементам для их монтажа и замены.

Аппараты фильтрации становятся неотъемлемой частью технологического оборудования в самых различных отраслях промышленности. Их применяют для обеспыливания газов плавильных печей черной и цветной металлургии, в стекольной и керамической промышленности, для очистки газов печей обжига, различного типа установок сжигания (мусора, зини, шлама), котельных установок в промышленности и в коммунальном хозяйстве, установок получения сажи, установок обжарки кофе.

Большой интерес представляет обеспыливание газов ТЭС, работающих на углях с различным содержанием серы, а также газов АЭС. Опыт показывает, что рукавные фильтры выступают серьезными конкурентами электрофильтров.

Таким образом, аппараты фильтрации проникают в области, в которых преобладали другие методы очистки. Можно ожидать, что уже в ближайшие годы появятся фильтры для обеспыливания дымовых газов с температурой до 500 °С и выше, в которых присутствуют агрессивные компоненты [50]. Для этих газов особенно важно иметь возможность работать при повышенных скоростях, чтобы скомпенсировать температурное увеличение объема.

В СССР разработаны и серийно выпускаются несколько модификаций рукавных фильтров общепромышленного назначения [46], что позволило значительно расширить области применения этих аппаратов в черной и цветной металлургии, тепловой энергетике, промышленности строительных материалов, в химии и нефтехимии, производстве синтетических моющих средств, в пищевой промышленности и др. Высокопроизводительные рукавные фильтры обеспечивают обеспыливание газов крупных цементных и электросталеплавильных печей в едином аппарате.

Тканевый фильтр состоит из корпуса цилиндрической или прямоугольной формы, выполненного из листовой стали, в котором размещены все узлы фильтра. Существенным элементом корпуса является

ВЛИЯНИЕ СЛОЯ ОСАЖЕННОЙ ПЫЛИ НА ЭФФЕКТИВНОСТЬ
УЛАВЛИВАНИЯ ТКАНЬЮ ЧАСТИЦ ДИАМЕТРОМ 0,3 МКМ

Ткань	Эффективность очистки, %		
	чистая ткань	после запыления	после очистки обратной продувкой
Тонкая синтетическая	2	65	13
Толстая ворсовая синтетическая	24	75	66
То же, шерстяная	39	82	69

бункер, имеющий коническую или пирамидальную форму, угол наклона стенок которого должен быть больше угла естественного откоса улавливаемой пыли. В нижней части бункера устанавливаются шнековый или скребковый транспортер и шлюзовой затвор, предназначенные для выгрузки уловленной пыли. Бункер и корпус разделены горизонтальной решеткой, в которой сделаны отверстия с патрубками для крепления рукавов. Корпус вертикальными стенками разделяется на секции с целью уменьшения перегрузки фильтровального материала и более эффективной регенерации. В секциях прямыми рядами или в шахматном порядке размещаются рукава; отношение длины рукава к диаметру — от 15 до 40 [51].

На корпусе находятся механизм управления регенерацией, клапанная коробка переключения секций на продувку с калорифером для подачи в фильтр (во избежание залипания фильтровального материала) подогретого продувочного воздуха, а также коллекторы, через которые запыленный газ и продувочный воздух подводятся к фильтру, а очищенный воздух отводится от него.

В тканевых фильтрах применяют фильтрующие материалы двух типов: обычные ткани, изготавливаемые на ткацких станках, и войлоки (фетры), получаемые путем сплочивания или механического перепутывания волокон иглопробивным методом.

Фильтровальная ткань представляет собой материал с определенным видом переплетения нитей (пряжи), скрученных из коротких (штапельных) или непрерывных волокон диаметром от 6 до 20—30 мкм. Более толстые (тяжелые) ткани из естественных или синтетических волокон часто подвергаются начесыванию, а шерстяные — еще и валке. В результате на поверхности переплетения образуется ворс или застил из расположенных в различных направлениях отдельных волокон. Более тонкие (легкие) ткани из стеклянных и синтетических непрерывных или штапельных волокон ворсованию не подвергаются, но степень закручивания нитей и плотность их расположения значительно выше, чем в толстых тканях. В типичных фильтровальных тканях размер сквозных пор между нитями утка и основы диаметром 300—700 мкм достигает 100—200 мкм. Волокна ворса и нитей частично перекрывают отверстия между нитями.

Осаждение частиц пыли в начальный период работы фильтра за счет механизмов касания, инерции, диффузии и электростатического взаимодействия происходит на волокнах, расположенных на поверхности нитей, а также в ворсе. Волокна, находящиеся внутри крученных нитей, в осаждении частиц практически не участвуют, так как поток газа проходит в основном через отверстия между нитями. В последующем наблюдается процесс соосаждения частиц и формирования «мостов» над порами и в самих порах, в результате чего образуется сплошной слой пыли, который сам становится «вторичной» фильтрующей средой, и эффективность очистки резко возрастает. Осаждение частиц в поверхностном пылевом слое и внутри запыленной ткани основано в значительной степени на ситовом эффекте, так как поры в слое, обтекаемые элементами (осажденные пылинки) и улавливаемые частицы имеют близкие размеры.

В табл. 3.6 приведены данные об эффективности очистки пыли тканевыми фильтрами в различные периоды их работы [52], откуда следует, что эффективность очистки тонкой тканью после регенерации резко уменьшается по сравнению с запыленной, в то время как различие в эффективности очистки при применении более толстых объемных тканей значительно меньше. Если в периоды между регенерациями на ткани образуется сплошной слой пыли, то можно ожидать весьма высокой степени очистки даже субмикронных частиц.

Таким образом, в тканевых фильтрах ткань выполняет роль несущей поверхности, т. е. служит основой для формирования и удержания фильтрующего пылевого слоя. Пористость и стабильность пылевых слоев в зависимости от размеров, формы и других свойств частиц, а также от скорости фильтрации, структуры ткани и способов ее регенерации изменяются в широких пределах.

При низких входных концентрациях пыли процесс образования слоя занимает много времени, поэтому лучшие результаты достигаются при очистке газов с высокой запыленностью. При этом накопленный слой пыли при регенерации не распыляется в газе, а разрушается, образуя крупные агрегаты. В результате уменьшается вероятность повторного осаждения пыли на ткани и облегчается выпадение ее в бункер. Способность большинства частиц с размерами менее 5 мкм коагулировать с образованием прочных агрегатов в потоке газа, в объеме ткани и на ее поверхности дает возможность использовать в качестве эффективной фильтрующей среды даже неплотные ткани, особенно при низких скоростях фильтрации. При регенерации часть осадка удаляется, но внутри ткани между нитями и волокнами остается значительное количество пыли, сохраняющее высокую эффективность очистки газов, поэтому при регенерации тканей нельзя допускать их «переочистки».

В тканевых фильтрах целесообразно использовать небольшие скорости фильтрации, обычно 0,5—1,2 см/с. При большей скорости происходит чрезмерное уплотнение пылевого слоя, сопровождающееся резким увеличением его сопротивления. При повышенных перепадах давления и скорости частицы проникают в глубь слоя и ткани, наблюдается нарушение первоначально сформированного пылевого слоя, сопровождающееся вторичным уносом пыли, особенно через отверстия между нитями.

Рассмотренные недостатки тканей в значительной мере устраняются при использовании в качестве фильтрующего материала войлоков (фетров). Эффективность улавливания частиц в этом случае не будет определяться главным образом наличием ранее сформированного слоя пыли; равномерное распределение волокон по всей поверхности и в толще фетра и отсутствие сквозных отверстий обеспечивает равномерное участие головок в процессе осаждения частиц. Процесс фильтрации протекает в объеме материала. При очистке фетров внутри них всегда остается часть пыли, обеспечивающая очень высокую эффективность улавливания субмикронных частиц. Это принципиальное отличие войлочных фильтрующих материалов от тканых дает возможность в 2—

5 раз увеличить нагрузку по газу, а также проводить регенерацию материала без прекращения подачи пылегазового потока.

Фильтровальные материалы

Рабочую поверхность фильтровального рукава можно представить в виде многослойной решетки, через которую проходит запыленный пылегазовый поток в ламинарном режиме скорости. В начальный период фильтрации по мере запыления чистого фильтровального материала на волокнах образуются пылевые наросты, которые, постепенно смыкаясь, образуют пористую фильтрующую перегородку (рис. 3.8). Увеличение толщины слоя пыли приводит к захвату частиц под действием сил инерции и диффузии; кроме того, эффект пылеосаждения возрастает при коагуляции частиц пыли с образованием крупных агрегатов, превышающих размер пор запыленного фильтра. Этот период работы фильтра характеризуется увеличением его газодинамического сопротивления.

После регенерации фильтровальной ткани процесс повторного запыления протекает аналогично. Однако осаждаемые частицы пыли заполняют трещины уже существующего, но разрушенного регенерацией слоя. Таким образом, фильтровальный материал не только выполняет роль подложки, а от его свойств зависят эффективность фильтрации и гидравлическое сопротивление аппарата. Поэтому к фильтровальным материалам для обеспыливания промышленных газов и аспирационного воздуха предъявляются определенные требования.

Независимо от конструкции фильтра, в котором устанавливается фильтровальный материал, от свойств очищаемой среды и улавливаемой пыли фильтровальные материалы должны иметь высокую пылеемкость в процессе фильтрации и способность удерживать после регенерации такое количество пыли, которого достаточно для обеспечения высокой эффективности очистки газов.

В процессе эксплуатации в течение длительного периода времени (обычно 1—2 года) фильтровальный материал должен сохранять вы-

соющую воздухопроницаемость в запыленном состоянии. Для обеспечения длительной работы в условиях действия регенерирующих устройств материалы должны иметь высокую прочность на разрыв и перегибы и способность к легкому удалению пыли, накопленной внутри пор и на поверхности. В необходимых случаях они должны обладать термостойкостью, кислотостойкостью, стойкостью к щелочам, невысокой стоимостью материала.

Все фильтровальные материалы можно подразделить на четыре основных типа (табл. 3.7), различающиеся тем, что они изготовлены из: естественных волокон животного и растительного происхождения (шерстяные, льняные, хлопчатобумажные, шелковые); искусственных органических волокон (лавсан, нитрон, капрон, хлорин, оксалон и др.); естественных минеральных волокон (асбест); искусственных неорганических волокон (стеклоткань, металлоткань). Во всех волокнах растительного происхождения основным веществом, определяющим их свойства, является целлюлоза.

Хлопковое волокно, так же как и целлюлоза, подвержено значительным изменениям под действием кислот, щелочей и окислителей. Однако растворы едкой щелочи концентрацией от 0,5 до 5 % при комнатной температуре не изменяют состава и свойств хлопкового волокна. Растворы уксусной кислоты слабой концентрации не оказывают заметного действия на хлопковые волокна при любой температуре. Аммиачные растворы гидроокисей меди, никеля, кобальта, цинка растворяют целлюлозу. Ткани из хлопковых волокон выдерживают температуру до 80 °С.

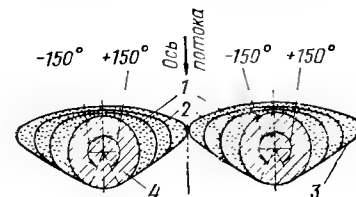


Рис. 3.8. Схема образования сплошного слоя пыли между двумя соседними волокнами [5]:

1—3 — условные контуры отложения пыли при различном ее количестве на ткани; 4 — волокно

КЛАССИФИКАЦИЯ

Естественные					Искусственные					
органические				неорганические	органические					
животного происхождения	растительного происхождения	минеральные			полиолефиновые	полиамидные				
Шерсть	Шелк	Лен	Хлопок	Асбест	Полипропилен	Полиэтилен	Капрон	Нейлон	Оксалон	Сульфон

ТАБЛИЦА 3.7

ВОЛОКОН [52]

Волокна									
органические					неорганические				
поливинилы и полиэфирные					фторсодержащие минеральные				
Нитрон	Хлорин	Ацетохлорин	Лавсан	Тетлон	Фторлон	Кремнеземные	Стеклокляные	Базальтовые	Металлические

Льняные волокна относятся к наиболее прочным из группы естественных волокон растительного происхождения. Химическая стойкость их примерно одинакова с волокнами хлопка. Льняные ткани находят ограниченное применение для фильтрации.

Шерстяные волокна относятся к группе естественных волокон животного происхождения и состоят главным образом из белковых веществ. Шерстяные волокна характеризуются наличием на поверхности чешуйчатого слоя. В отличие от целлюлозы белковые вещества относительно стойки к действию кислот; щелочи, как и газообразный аммиак, быстро разрушают белковые вещества волокон шерсти. Шерстяные ткани могут быть применены при фильтрации газа с температурой не более 90 °С. Для увеличения прочностных характеристик шерстяных тканей в них добавляют волокна капрона, лавсана или других синтетических материалов. Ткани из шерстяных волокон при высокой температуре имеют большую усадку.

Шелковые волокна также относятся к группе естественных волокон животного происхождения и в основном состоят из белковых веществ. Стойкость к щелочам у шелка несколько лучшая, чем у шерсти, но хуже, чем у хлопка. Шелк стоек в слабокислой среде, однако шелковые ткани применяются очень редко.

Асбестовое волокно относится к группе естественных волокон минерального происхождения. Основными достоинствами волокон асбеста являются высокая термостойкость, неподверженность гнилостным процессам, стойкость в щелочных и кислых средах. Прочностные свойства асбестовых волокон невысокие.

Стекловолоконное волокно отличается высокой термостойкостью, выдерживает значительные разрывные нагрузки, хемостойко. Основным сырьем для получения стеклянных волокон для фильтровальных тканей является алюмоборосиликатное бесщелочное стекло. Ткани из алюмоборосиликатного бесщелочного стекла применяются для очистки газов, имеющих в составе щелочи. Алюмомагнезиальные стеклоткани могут быть применены для фильтрации кислых сред. В последнее время освоено производство стеклотканей из высокообъемной (текстурированной) пряжи. Недостатком всех стеклянных волокон является их низкая стойкость к перегибам и истиранию. Фильтровальные ткани из стеклянных волокон применяются для очистки газов с температурой до 250 °С. Температура размягчения стеклянных волокон находится в пределах 500—600 °С.

Лавсановое волокно эластично, устойчиво к истиранию, слипанию, изгибу. В кислых средах стойкость лавсановых волокон относительно высокая, в щелочных средах прочность лавсана значительно снижается. Лавсановые волокна устойчивы к воздействию микроорганизмов, ткани из них не плесневеют, устойчивы к действию света, но очень чувствительны к резким колебаниям влажности. Лавсановые фильтровальные ткани при длительной эксплуатации выдерживают температуру 130 °С.

Нитроновое волокно — продукт полимеризации акрилонитрила, сырьем для которого служат ацетилен и синильная кислота. Отличительной особенностью нитроновых волокон является их сходство по внешнему виду с волокнами натуральной шерсти. Стойкость к кислым средам нитрона высокая, он удовлетворительно выдерживает действие щелочных сред. Нитрон нечувствителен к резким колебаниям влажности. Термостойкость фильтровальных тканей из нитрона определяется пределом 120—130 °С.

Хлориновое волокно имеет высокую химическую стойкость, устойчиво к действию микроорганизмов и плесени. Выдерживает температуру до 70 °С. При повышении температуры более 70 °С хлориновые во-

локна размягчаются, ткань теряет эластичность и быстро выходит из строя. При длительном воздействии света прочность хлориновых волокон значительно снижается. При колебаниях влажности хлориновые ткани не дают заметной усадки.

Капроновое волокно характеризуется высокой устойчивостью к истиранию и воздействию знакопеременных нагрузок растяжение — сжатие, обладает хорошей устойчивостью к щелочным средам. В концентрированных кислотах капрон растворяется. Ткани из капрона длительно выдерживают температуру 90 °С.

Оксалоновые волокна имеют высокую термостойкость. Ткани из оксалоновых волокон способны длительно работать при температуре 180—200 °С, устойчивы в кислых средах.

Тефлоновые волокна отличаются высокой химической стойкостью, превосходящей все известные материалы, устойчивы к изгибу и трению. Под действием больших механических нагрузок материал из тефлона вытягивается, «течет». Тефлоновые ткани могут выдерживать температуру до 230 °С.

По структуре фильтровальные материалы подразделяются на тканые и нетканые. Тканые фильтровальные материалы в свою очередь подразделяются в зависимости от способа переплетения на полотняные, саржевые, сатиновые; в зависимости от вида волокна в нити — на штапельные, филантные, текстурированные; в зависимости от обработки поверхности — на ворсовые, гладкие. Нетканые фильтровальные материалы по способу закрепления волокон подразделяются на иглопробивные, холстопробивные, клеевые. В табл. 3.8 приведены основные свойства текстильных волокон для фильтровальных тканей.

Основные свойства фильтровальных материалов

Эффективность пылеулавливания, гидравлическое сопротивление, срок службы фильтровальных тканей во многом зависят от их структуры, способа плетения, плотности, толщины и крутки нитей. Плотность ткани характеризует частоту расположения нитей в единице длины (количество нитей на 10 см). Более плотные ткани имеют повышенные прочностные свойства, более высокий коэффициент пылеулавливания и одновременно с этим повышенное гидравлическое сопротивление в процессе фильтрования, низкую воздухопроницаемость, а следовательно, и более низкую пропускную способность при установке в рукавных фильтрах.

Одним из основных текстильных показателей, во многом определяющих фильтровальные, регенерационные и прочностные свойства фильтровальных тканей, является переплетение нитей основы и утка. Для фильтровальных тканей обычно применяются три вида переплетения: саржевое, полотняное и сатиновое (рис. 3.9). Саржевое переплетение характеризуется наличием на поверхности ткани диагональных полос. Нити основы и утка в саржевых тканях перекрываются в соотношении 2×2, 1×3, 3×1 и имеют возможность перемещения относительно друг друга, способствуя этим эффективности регенерации.

Ткани полотняного переплетения более плотные. Нити основы и утка перекрываются в них попеременно. Ткани полотняного переплетения имеют высокую эффективность пылеулавливания, но обладают большим сопротивлением вследствие плохой регенерируемости.

Сатиновые (атласные) ткани характеризуются гладкой поверхностью. Они более рыхлые по сравнению с тканями полотняного и саржевого плетения, имеют хорошую регенерируемость. Прочностные свойства сатиновых тканей относительно невысокие. Использование их в каркасных фильтрах нежелательно, так как при натягивании на каркас

ОСНОВНЫЕ СВОЙСТВА ТЕКСТИЛЬНЫХ ВОЛОКОН ДЛЯ ФИЛЬТРОВАЛЬНЫХ ТКАНЕЙ [44]

Исходный полимер или сырье	Название волокна	Плотность, кг/м ³	Термостой- кость, С° при воздействии		Химическая стойкость в различных средах				Горючесть	Прочность на разрыв, МПа	Разрывное удлинение, %	Стойкость к истиранию	Влагоемкость, %, при 20 °С	
			длительном	кратковременном	кислоты	щелочи	окислители	растворители					при φ = 65 %	при φ = 90 ÷ 95 %
Целлю- лоза	Хлопок	1520	65—85	90—95	ОП	Х	У	ОХ	Да	360—530	7—8	У	7—8,5	24—27
Проте- ины	Шерсть	1320	95—100	120	У	ОП	У	Х	»	130—200	30—40	У	13—15	21,9
Поли- амид	Капрон	1140	80—90	120	ОП	ОХ	У	Х	»	450—600	18—32	ОХ	3,5—4,5	7—8,5
	Номекс	1380	220	260	У	ОХ	Х	Х	Нет	400—800	14—17	ОХ	—	—
Поли- эфир	Лавсан	1380	130	160	Х	У—П	Х	Х	Да	450—700	15—25	ОХ	0,4	0,5

Полиак- рилони- трил	Нитрон	1170	120	150	Х—У	У	Х		»	300—470	15—17	У	0,9—2	4,5—5
Поли- олефин	Поли- пропи- лен	920	85—95	120	ОХ	ОХ	Х	Х	»	440—860	22—25	ОХ	0	0
Поли- винил- хлорид	Хлорин, ацето- хлорин, ПВХ	1380— 1470	65—70	80—90	ОХ	ОХ	ОХ	Х	Нет	180—230	15—30	ОП— П	0,17— 0,3	0,7—0,9
Полите- трафтор- этилен	Фторо- пласт, полифен	2300	220	270	ОХ	ОХ	ОХ	ОХ	»	350—400	50	У	0	0
Полиок- сиди- азол	Оксалон	—	250	270	Х	—	—	—	—	—	—	Х	—	—
Алюмо- бороси- ликатиное стекло	Стек- лянное волокно	2540	240	315	Х	У	ОХ	ОХ	Нет	1600— 3000	3—4	ОП	0,3	—

Примечание: ОХ — очень хорошая; Х — хорошая; У — удовлетворительная; П — плохая; ОП — очень плохая.

они легко могут быть повреждены. Для повышения прочности сатиновых тканей иногда повышают их плотность, но это приводит к снижению воздухопроницаемости.

Фильтровальные ткани могут быть изготовлены из нитей, состоящих из непрерывных по длине волокон (филаментная нить) или из нитей, скрученных из коротких волокон (штапельная нить). Филаментная нить значительно прочнее штапельной. Однако по эффективности пылеулавливания штапельные ткани превосходят филаментные, имеют

лучшую воздухопроницаемость и легче восстанавливают свойства в процессе регенерации.

Высокие показатели пылеотделяющих свойств при относительно низком гидравлическом сопротивлении имеют ткани, изготовленные из текстурированных нитей. Текстурированные нити получают либо специальным разрыхлением, например сжатым воздухом, либо за счет применения специальных волокон витой формы. Для определения толщины нити принята единица текс (Т). Толщина в тексах численно равна массе 1 км нити в граммах. Обратная величина, т. е. отношение длины нити (км) к ее массе (г), является номером нити.

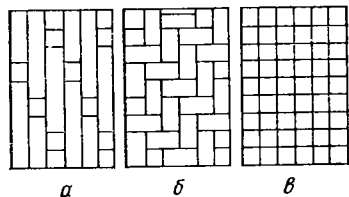


Рис. 3.9. Способы плетения фильтровальных тканей:

а — сатиновое; б — саржевое; в — полотняное

Важным показателем фильтровального материала является его воздухопроницаемость, которая определяется количеством воздуха, способного пройти через единицу площади в единицу времени при заданном напоре (разрежении). Фильтровальный материал считается хорошим, если он имеет воздухопроницаемость $150 \text{ дм}^3/(\text{м}^2 \cdot \text{с})$ при сопротивлении 50 Па. Воздухопроницаемость находится в прямой зависимости от плотности ткани.

Прочностные свойства фильтровальных материалов характеризуются такими показателями, как разрывная нагрузка, изгибоустойчивость, жесткость, стойкость к истиранию. Фильтровальные материалы с низкими показателями изгибоустойчивости непригодны для применения в фильтрах с механическим методом регенерации, так как действующие на них знакопеременные нагрузки растяжение — сжатие приводят к их быстрому износу. Такие ткани не рекомендуются применять для фильтров каркасных конструкций, поскольку соприкосновение и удары ткани о каркас вызывают разрушение волокон. То же самое относится и к фильтровальным материалам с низкими показателями стойкости к истиранию. Материалы с пониженной прочностью на разрыв, как правило, не применяются в бескаркасных фильтрах с большой длиной рукавов. В фильтрах каркасных конструкций предварительной натяжки ткани и подтяжки ее в процессе эксплуатации не требуется, поэтому в них возможно применение менее прочных на разрыв тканей, чем в фильтрах с обратной продувкой. В табл. 3.9 приведены основные свойства фильтровальных тканей из природных и синтетических волокон, используемых в промышленности.

При обеспыливании газов с низким влагосодержанием и высоким удельным электрическим сопротивлением фильтровальные ткани из синтетических и стеклянных волокон заряжаются, а это создает в результате электрического пробоя воздушного промежутка между рукавом и корпусом фильтра опасность возникновения пожара в фильтре. Для защиты от электризации в ткани вплетают тонкие металлические про-

волочки или пропитывают их антистатическими электропроводящими составами [22, 43].

Стеклоткани стойки при температурах до $150\text{—}350^\circ\text{C}$, при которых природные и большинство синтетических волокон разрушаются. Стеклоткань изготавливается из алюмоборосиликатного бесцелочного или магнезального стекла. Непрерывные нити из волокон диаметром $5\text{—}8 \text{ мкм}$ получают из расплава с помощью фильер, штапельное волокно длиной $20\text{—}40 \text{ см}$ получают распылением расплава прерывистыми струями горячего воздуха.

Для улучшения сопротивляемости к многократным изгибам стеклянные ткани подвергают термохимической обработке путем пропитки в водной эмульсии кремнийорганических соединений с последующей полимеризацией защитной пленки при высокой температуре. Аппретированная стеклоткань становится эластичной, приобретает гладкую и гидрофобную поверхность, с которой удаляется слой уловленной пыли.

Срок службы ткани зависит от стойкости кремнийорганических полимеров, которые начинают разрушаться при $175\text{—}225^\circ\text{C}$; при дальнейшем повышении температуры долговечность ткани резко снижается, но и при 250°C срок службы обработанных тканей по сравнению с необработанными выше в несколько раз и составляет от 6 до 24 мес. Несмотря на более высокую изгибоустойчивость, регенерацию аппретированных стеклотканевых рукавов производят в основном обратной продувкой, а в некоторых случаях периодически (несколько раз в сутки) кратковременным покачиванием рукавов.

При длительном воздействии температуры и высокой абсолютной влажности снижается стойкость покрытия и волокна приобретают склонность к самоистиранию. Особенно сильный износ наблюдается, если рукава плохо натянуты (провесы), а также если не обеспечивается синхронное плавное перекрытие дроссельных клапанов подачи чистого и загрязненного газов. Рукава обычно навешиваются на регулируемые пружины; механические воздействия на стеклянную ткань и резкие толчки, вызывающие изгибающие деформации с образованием складок, должны быть полностью исключены.

Для защиты от статического электричества и повышения устойчивости к изгибающим деформациям во время аппретирования на волокна наносят графит (в коллоидном состоянии); при этом срок службы тканей при высокой температуре значительно удлиняется. Покрытие волокон тефлоновой пленкой (из эмульсии) также существенно повышает долговечность тканей [22, 53]. Для увеличения воздухопроницаемости тканей при сохранении прочности уточные нити изготавливают из штапельного волокна.

Промышленностью выпускается несколько видов аппретированных стеклотканей, различающихся по воздухопроницаемости, массе, прочности. Ткани применяются на сажевых, цементных, металлургических и других предприятиях и успешно используются для улавливания высокодисперсных саж, цементной пыли, возгонов цветных и редких металлов, в производстве фосфорных удобрений. Для улавливания сажи оптимальная нагрузка по газу не должна превышать $0,35 \text{ м}^3/(\text{м}^2 \cdot \text{мин})$ для тканей из непрерывного стеклянного волокна и $0,45 \text{ м}^3/(\text{м}^2 \cdot \text{мин})$ для тканей со штапельной уточной пряжей.

При низкой запыленности часто используются тяжелые ткани ($600\text{—}800 \text{ г/м}^2$), при более высоких концентрациях — более легкие ткани ($300\text{—}500 \text{ г/м}^2$). Ткани из филаментных нитей используются для улавливания плохо удаляемых пылей; масса 1 м^2 таких тканей составляет $200\text{—}400 \text{ г}$.

Нетканые материалы. К этим материалам относятся фильтровальные шерстяные фетры, получаемые из натуральной шерсти, а также иг-

ОСНОВНЫЕ СВОЙСТВА ФИЛЬТРОВАЛЬНЫХ ТКАНЕЙ [52]

Фильтровальный материал	Масса 1 м ² , г	Толщина, мм	Число нитей в 10 см длины		Разрывная нагрузка полоски 50×100 мм, Н		Водоупорность, л/(м ² ·с), при 50 МПа	Изгибустойчивость	Вид изделия	Завод-изготовитель
			основа	уток	основа	уток				
Сукно № 2, арт. 20, ГОСТ 6986—69 (шерсть + капрон)	340	1,5	228	147	420	300	50	X	Полотно	Сурский суконный комбинат «Красный Октябрь», г. Сурск Пензенской обл.
Ткань ЧШ, арт. 21, саржа 2/2	495	2,4	116	108	620—720	360—610	80	X	»	То же
Ткань нитрон Н, арт. 133, ТУ РСФСР 5509—72	430	1,6	109	91	960	600	110	X	»	»
Ткань ЦМ, арт. 83, ТУ 17 РСФСР 41-47-70 (шерсть 80 % + капрон 20 %), саржа 2/2	500	2,3	106	100	890—920	400—650	150	X	Рукава	То же и комбинат тонких и технических сукон им. Тельмана, г. Ленинград
Ткань лавсан, ТУ 17 РСФСР 8174—75	420	1,4	218	162	1710	654	90	X	Л-3, арт. 216—рукав Л-4, арт. 217—полотно	То же
Ткань лавсановая фильтровальная, арт. 86033, ТУ 17 УССР 3238—78	316	1,0	326	159	2400	1300	180	X	Полотно	—
Двухслойная ткань лавсан, арт. 5468, ТУ 17 РСФСР 8053—75	940	2,6	184	154	2500*	2000*	67	X	»	Золотовская ткацкая фабрика
Стеклоткань РСФ(Б)—0, ГОСТ 15974—70, алюмоборосиликатная	392	0,37	200	450	1600**	1000**	100—180	П	Рукав	Полоцкий завод стекловолокна, г. Полоцк Витебской обл.
Стеклоткань ТСФ(Ш)—0, ТУ 6-11-252—73, уток штапельный, 4-ремизный сатин	600	0,65	200	150	1700**	600**	160	П	Полотно	То же
Стеклоткань ТСФТ-2-0, ТУ 6-11-261-73, саржа 3/1	600	0,55	200	110	1750**	750**	90	П	»	»
Стеклоткань ТСФР(Б)7с, ГОСТ 10146—74, саржа 2/2, алюмомагнесиальная	385	0,33	200	150	2000**	1600**	75	П	Рукав	»
Стеклоткань ТСФТ-2-СТФ, ТУ 6-11-375-76, покрытие силикон-графит-фторопластовое, саржа 3/1	610	0,55	200	110	1750**	750**	200	У	»	»

Фильтровальный материал	Масса 1 м ² , г	Толщина, мм	Число нитей в 10 см длины		Разрывная нагрузка полоски 50×100, мм, Н		Воздухопроницаемость, л/(м ² ·с), при 50 МПа	Испытуемость	Вид изделия	Завод-изготовитель
			Основа	Уток	Основа	Уток				
Ткань оксалоновая ТГО-3, ТУ 6-06-31-124-76, саржа 2/2, арт. В-903	510	0,7	120	100	4200**	3280**	110	X	Полотно	Светлогорский завод искусственного волокна Гомельской обл.
Нетканый холстопрониивной лавсан, ТУ 17 РСФСР 7043-74	500	—	—	—	700 по длине	1300 по ширине	75	X	»	Иланская фабрика нетканых материалов, г. Илан-Ульяновской обл.
Войлок иглопробивной, ТУ 17 ЭССР 413-77, лавсан, арт. 204-Э	600	2,0	—	—	1140**	550**	140	X	»	КБ МЛП ЭССР г. Таллин
Войлок иглопробивной с карасом, лавсан, ТУ 17-14-45-77, арт. 931521	460	2,5	—	—	1000**	760**	140	X	»	Одеско-платонская фабрика № 4, г. Москва

Примечание: X — хорошая; У — удовлетворительная; П — плохая.

* Для полоски 50×200 мм.

** Для полоски 25×100 мм.

лопробивные войлоки на основе синтетических волокон. Фетры или войлоки представляют собой плотные слои беспорядочно перепутанных штапельных волокон, равномерно распределенных в объеме и обладающих высокой устойчивостью к многократным изгибам. Толщина фетров обычно составляет 1,6—3,2 мм, а масса 1 м² материала изменяется от 0,4 до 0,6 кг.

Уплотнение и перепутывание слоя синтетических волокон для получения фетра производится на иглопробивных машинах. Для достижения требуемой прочности и стабильности размеров волокна после набивки на сеточный тканый каркас из тех же волокон подвергаются термической и химической обработке. Фетры получают из полиэфирных, нитроновых и других волокон, в том числе из термостойких: номекса, тефлона, нержавеющей стали, стекла, а также из их комбинаций. Фетры подвергаются термической и механической обработке для получения очень гладкой поверхности. Фильтровальные фетры используются в основном в фильтрах с обратной струйной продувкой или при импульсном методе регенерации, а также фильтрах с другими видами регенерации. Выходная концентрация пыли очень низкая.

Аэродинамические свойства чистых фильтровальных тканей характеризуются воздухопроницаемостью — расходом воздуха при определенном перепаде давления, обычно равном 49 Па. Воздухопроницаемость измеряется в м³/(м²·мин) или в л/(м²·с) и численно равна скорости фильтрации при $\Delta p = 50$ Па. Аэродинамическое сопротивление незапыленных тканей при рекомендуемых нагрузках по газу 0,3—2 м³/(м²·мин) обычно составляет 5—40 Па. По мере запыления аэродинамическое сопротивление ткани возрастает, расход газа через фильтр при достижении сопротивления, равного статическому напору вентилятора, снижается, затем остается постоянным, а расход газа продолжает уменьшаться.

Для поддержания производительности фильтра при заданном значении перепада давления на нем ткань регенерируют путем продувки в обратном направлении, механического встряхивания или другими комбинированными методами.

После определенного периода (от нескольких десятков до нескольких сотен часов в зависимости от условий эксплуатации) работы фильтра с чередованием циклов фильтрации и регенерации остаточное количество пыли в ткани стабилизируется и соответствует так называемому равновесному пылесодержанию ткани и остаточному сопротивлению равновесно запыленной ткани. Значения этих величин зависят от типа фильтрующего материала, размеров и свойств пылевых частиц, относительной влажности газов, метода регенерации и других факторов.

Иногда остаточное сопротивление ткани непрерывно увеличивается, т.е. происходит забивание или «замазывание» ткани. Это явление не связано непосредственно с воздухопроницаемостью чистой ткани, а возникает прежде всего в результате застревания частиц внутри волоконистой пряжи и в порах между нитями из-за высокого перепада давления, в результате химических и физических процессов, происходящих в пыли, находящейся в порах и на волокнах пряжи, особенно при наличии влаги или электростатических взаимодействий.

Для оценки целесообразности применения тканевых фильтров в каждом конкретном случае используют данные эксплуатации фильтров с подходящими тканями в условиях, аналогичных рассматриваемым. Уточняя оптимальные параметры работы путем проведения испытаний опытно-промышленных установок.

Основным показателем, определяющим применимость фильтровального материала для любого технологического передела, является его

пылеотделяющая способность. Последняя зависит от свойств пыли и газа, текстильных показателей ткани, условий и режимов эксплуатации, конструктивных особенностей фильтра. В настоящее время нет достаточно отработанных приборов для определения пылеотделяющей способности фильтровальных материалов.

В большинстве случаев разработчики новых фильтровальных материалов для оценки пылеотделяющей способности используют индивидуально созданные стенды [50] с искусственным аэрозолем бихромата калия, масляного тумана; чаще в качестве улавливаемой пыли используется молотый кварцевый песок с медианным размером частиц 5 мкм.

Другим важным свойством фильтровальных материалов является их способность к регенерации, которая осуществляется различными способами: обратной и импульсной продувкой, простым встряхиванием, вибрацией, покачиванием и перекручиванием рукавов, воздействием звуковых колебаний, ударной волной и др.

После проведения цикла регенерации в порах и на поверхности ткани остается определенное количество пыли, создающее дополнительное гидравлическое сопротивление. После нескольких циклов регенерации (иногда нескольких десятков или сотен циклов) остаточное сопротивление обычно стабилизируется. Более плотные ткани с малыми значениями воздухопроницаемости обычно имеют большое остаточное сопротивление. Для сравнительной оценки регенерационной способности тканей иногда пользуются условным показателем регенерируемости K_p [52], численно равным отношению разности конечного P_k и остаточного $P_{ост}$ сопротивления к конечному, %:

$$K_p = (P_k - P_{ост}) 100\% / P_k$$

Измерения показателей регенерируемости производятся в одних и тех же условиях при одинаковых параметрах, характеризующих свойства пыли, газа, режимы фильтрования и регенерации.

Рекомендации по применению фильтровальных материалов

Для очистки аспирационного воздуха в системах вентиляции цеховых помещений, а также для очистки воздуха, отсасываемого с участков пересыпки, транспортировки, упаковки пылевидных материалов, широко применяются хлопчатобумажные и шерстяные ткани, имеющие высокий коэффициент пылеулавливания при относительно низком гидравлическом сопротивлении. Эти ткани эффективно улавливают такие высокодисперсные пыли, как технический углерод, цемент, окись цинка и др.

Из фильтровальных тканей, изготовленных на основе волокон естественного происхождения, наиболее широко применяется в аспирационных системах сажевых, цементных, пищевых производств фильтровальное сукно № 2, арт. 20, выпускаемое в соответствии с ГОСТ 6986—69.

Хлопчатобумажные ткани типа вельветон широко применяются для очистки газов асбестовых производств. Гидравлическое сопротивление их относительно низкое, пылеотделяющая способность высокая.

В последнее время в нашей стране и за рубежом наметилась тенденция к полной замене фильтровальных тканей из естественных волокон на синтетические ткани с целью высвобождения натуральных волокон для бытовых целей. Однако шерстяные и хлопчатобумажные ткани все еще продолжают широко применяться. К недостаткам всех тканей из волокон естественного происхождения относятся подверженность их гнилостным процессам, отрицательному действию влаги, при хранении они часто портятся молью. Низкая рабочая температура: 80—90 °С.

Срок службы их значительно меньше, чем материалов из синтетических волокон. Суконные и хлопчатобумажные ткани нередко имеют срок службы до 3 мес при среднем сроке службы фильтровальных тканей 1—2 года. Стойкость к агрессивным газам шерстяных тканей очень низкая. При температуре выше 90 °С волокна шерсти становятся хрупкими и ломкими. Для очистки технологических газов с температурой до 130 °С широкое применение получили фильтровальные ткани и нетканые материалы из лавсановых волокон.

Высокие показатели пылеотделяющих, прочностных и регенерационных свойств имеют лавсановые ткани, изготовленные по утку и основе из штапельного волокна. Работы, проведенные на промышленном фильтре ФРКДИ-1100 при очистке газов электродуговых сталеплавильных печей, показали, что штапельная лавсановая ткань Л-3 имеет эффективность пылеулавливания 99 % и высокую регенерационную способность [54].

Из тканей, изготавливаемых из лавсановых волокон, можно выделить следующие: арт. 86013 по ОСТ 17—452—74, предназначенную для производства витаминов; арт. 86033 по ТУ 17 УССР 3238—78, разработанную для сахарной промышленности; арт. 216 и 217 ТУ 17 РСФСР 8174—75, разработанную для улавливания цементной пыли. Эти ткани серийно выпускаются отечественными предприятиями и рекомендованы для различных переделов и производств. Они могут применяться в фильтрах как каркасных, так и бескаркасных конструкций. Ткани арт. 86013 и 86033 плотнее, чем ткань арт. 217, и имеют несколько большее гидравлическое сопротивление. Одним из существенных недостатков тканей из лавсана является способность к электризации, которая может привести к взрыву взрывоопасных пылегазовых смесей.

Прочность лавсана в 4—5 раз выше прочности шерстяных тканей. В кислых средах лавсан устойчив, но не выдерживает действия щелочных сред. Лавсан устойчив к истиранию, хорошо служит в условиях изгиба волокон, поэтому он может применяться в каркасных и бескаркасных фильтрах практически с любым методом регенерации. Лавсановая ткань может применяться для улавливания абразивных пылей, например в условиях производства керамических, огнеупорных материалов, кварцевого песка.

Широкое применение в каркасных фильтрах с импульсной продувкой получили нетканые иглопробивные лавсановые материалы. Они относительно просты в изготовлении, дешевы и имеют высокие фильтровальные и прочностные характеристики. Например, при улавливании пыли свинцового глета с медианным диаметром частиц 3 мкм рукавные фильтры типа ФРКИ, оснащенные иглопробивным нетканым материалом, обеспечили эффективность пылеулавливания 99,8 % при запыленности выбрасываемых газов не выше 4—6 мг/м³.

Уплотнение и перепутывание слоя синтетических волокон производится на иглопробивных машинах (рис. 3.10). Такие материалы имеют высокую воздухопроницаемость, хорошие пылеотделяющие свойства, прочны на изгиб и разрыв. Они применяются обычно в фильтрах с импульсной продувкой. Метод отряхивания применять не рекомендуется, так как материалы имеют объемную структуру и в порах накапливается пыль, которая может создавать значительное гидравлическое сопротивление. Для улучшения отряхиваемости пыли с нетканого материала его поверхность подвергают тепловой обработке (оплавлению).

Во многих производствах используются материалы из полиакрилонитрильных волокон нитрона. В течение длительного времени нитроновые рукава выдерживают температуру до 120 °С. Они имеют относительно высокую химическую стойкость, достаточную сопротивляемость истиранию и изгибу. На предприятиях цветной металлургии нитроновые

ткани составляют около 40 % от общего количества всех используемых фильтровальных материалов. Недостатком материала из нитрона является его текучесть при воздействии повышенной температуры; вытяжка ткани доходит до 15 %.

Применение фильтровальных материалов из синтетических волокон повышенной термостойкости (оксалон, фенилон) позволяет повысить производительность фильтров за счет уменьшения подсосов воздуха для охлаждения газов. Термостойкость таких тканей составляет 180—220 °С. Оксалоновая ткань при очистке газов вельц-печей на цинковых заводах обеспечивает эффективность пылеулавливания 99,5 % при тем-

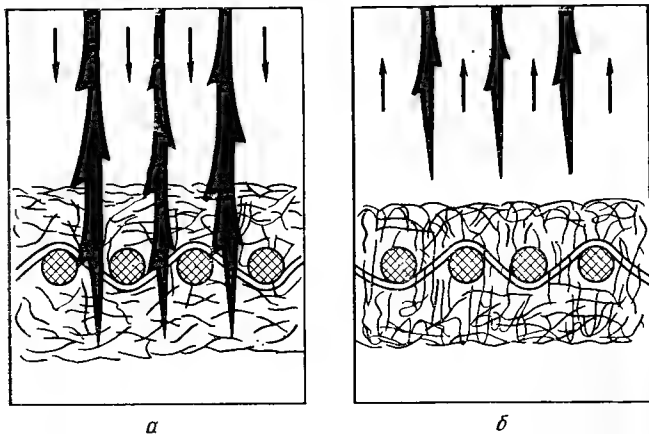


Рис. 3.10. Схема получения иглопробивного фильтровального материала:

а — фильтровальный материал в процессе иглопробивания; б — фильтровальный материал после завершающей стадии иглопробивания

пературе очищаемых газов 200—210 °С [55]. Свойства оксалоновой ткани ТТО-3 изучены недостаточно. Иногда она подвержена быстрой заби-ваемости, часто дает большой проскок пыли.

Фенилоновые материалы перспективны для применения при температуре 220 °С. В то же время прочность этих материалов пока недостаточна, а изготовление отдельных партий фильтровальных материалов из фенилона обходится дорого.

Для очистки газов с температурой до 250 °С в производствах технического углерода, цемента, в черной и цветной металлургии широко применяются фильтровальные стеклоткани. Основным преимуществом стеклоткани перед другими фильтровальными материалами является ее высокая термостойкость при сохранении механической прочности. В фильтрах типа ФР-5000 с регенерацией ткани способом обратной продувки на заводах технического углерода стеклоткани эффективно работают в течение 1,5—2 лет. Однако стеклоткани имеют относительно слабую стойкость к многократным перегибам и истиранию. Поэтому на фильтрах каркасных конструкций стеклоткань не применяется. Для улучшения сопротивляемости к многократным изгибам стеклоткани подвергают термохимической обработке (аппретированию). Пропитанная аппретами

стеклоткань становится эластичной, приобретает гладкую и гидрофобную поверхность.

При использовании стеклотканей в сажевой промышленности удельную газовую нагрузку обычно принимают равной около 0,28 м³/(м²·мин). При использовании в цементной промышленности нагрузка повышется до 0,7 м³/(м²·мин).

Для рукавных фильтров, работающих в условиях взрывоопасных сред, при улавливании пылей, способных накапливать статическое электричество, Сембратовским филиалом НИИОгаза совместно с другими организациями разработан специальный антистатический фильтровальный материал на основе лавсана с добавлением металлических волокон. Проверка антистатического материала на химико-металлургическом заводе в течение длительного периода времени показала его высокую эффективность пылеулавливания и надежность в обеспечении безопасной работы фильтра [52].

При фильтровании агрессивно действующих на ткань газов с повышенной температурой иногда применяют асбестовые ткани, которые стойки в кислых и щелочных средах и выдерживают высокую температуру. Однако из-за низкой прочности их применяют лишь в условиях небольших перепадов давления. Для повышения прочности асбестовых тканей в них добавляют волокна других материалов, однако при этом несколько снижается устойчивость к повышенным температурам.

Для фильтрования технологических газов с температурой до 500 °С все чаще применяются ткани и нетканые материалы, изготовленные из металлических волокон. Металлические фильтровальные материалы наряду с термостойкостью имеют высокие прочностные свойства, безупрочны, микробиологически стойки, электропроводны. Для повышения их долговечности металлические волокна изготавливают из некорродирующих сплавов.

Выбор фильтровального материала для оснащения конкретного рукавного фильтра осуществляется, исходя из физико-химического состава пыли и газа, конструктивных особенностей фильтра, примененного способа регенерации, требований к степени очистки и допустимого гидравлического сопротивления.

Ниже приводятся рекомендации по применению серийных фильтровальных материалов в различных отраслях промышленности. Лавсановые фильтровальные ткани арт. 216, 217, 86013, 86033 и нетканые фильтровальные материалы арт. 931505, 931506, 91507, 204-Э рекомендуется применять в следующих отраслях промышленности и технологических процессах:

в цементной промышленности для обеспыливания аспирационного воздуха от помольных мельниц, сушильных барабанов, силосов, упаковочных машин, дробилок и др.;

в химической промышленности на участках пневмотранспорта порошковых материалов, в производстве пигментов и красителей, при очистке газов обжиговых и рафинировочных печей мышьякового концентрата, при производстве синтетических моющих средств и др.;

в нефтехимической промышленности на участках улавливания катализаторной пыли при производстве синтетического каучука, в аспирационных системах шинных заводов, в производстве и переработке асбестохимических изделий, в аспирационных линиях заводов техуглерода;

в черной металлургии для очистки дымовых газов и аспирационного воздуха электродуговых сталеплавильных печей, в аспирационных системах мартеновских и конвертерных цехов, на аглофабриках для очистки воздуха после дробилок, грохотов, перегрузочных устройств, в производстве огнеупорных материалов на участках дробления, пересыпки, транспортировки;

в цветной металлургии на участках обеспыливания воздуха после спекательных машин, шахтных и трубчатых печей, шлаковозгонных установок в производстве свинца и цинка, на участках очистки воздуха рафинировочных котлов в производстве олова, после отражательных печей в производстве сурьмы и редкоземельных металлов;

в строительной промышленности на участках аспирации после дробильных машин, транспортеров, сушильных барабанов, мельниц, смесительных установок, деревообрабатывающих станков.

Двойной лавсан арт. 86031 рекомендуется применять в фильтрах с интенсивными методами регенерации в случаях, когда требуется высокоэффективная очистка газов и нет жестких требований к ограничению гидравлического сопротивления пылеулавливающей установки.

Нетканый иглопробивной антистатический фильтровальный материал арт. 931521 рекомендован для использования в фильтрах типа ФРКН-В для очистки аспирационного воздуха на предприятиях легкой промышленности при производстве шерстяных изделий; в пищевой промышленности при производстве крахмала, муки, сахара, чая; в химической промышленности при производстве пестицидов.

Полушерстяные ткани, сукно фильтровальное № 2, арт. 20, ткань «рукав ЦМ», арт. 83, ткань «рукав РЦЛ», арт. 115, и другие применяются при очистке нейтральных сухих низкотемпературных газов в различных отраслях промышленности.

Нитроновый фильтровальный материал, арт. 133, преимущественное применение получил на предприятиях цветной металлургии.

Хлопчатобумажная ткань вельветон, арт. 3601, применяется главным образом в фильтрах ФР-100 и ФПИ на участках аспирации предприятий по производству асбестовых изделий.

Фильтровальные стеклоткани марок ТСФТ-2-СГФ, ТСФТ-2-0, ТСФ(Б)-7С применяются преимущественно в производстве технического углерода в фильтрах типа ФР, устанавливаемых на участках улавливания пыли технического углерода после реакторов. Стекланые фильтровальные материалы также широко используются для улавливания цемента при установке в фильтрах типа СМЦ, для улавливания возгонов цветных и редких металлов, для улавливания пыли сложных фосфорных удобрений в химической промышленности.

Оксалоновая ткань ТТО-3 рекомендуется к применению на предприятиях цветной металлургии. В настоящее время изучается вопрос возможности использования этого термостойкого материала в энергетике. Целесообразным является создание штапельных тканей и нетканых материалов из оксалоновых волокон.

Ленинградским институтом текстильной и легкой промышленности им. С. М. Кирова совместно с Научно-исследовательским институтом шинной промышленности разработана лавсановая фильтровальная ткань ФТ-370-Ш, которая обрабатывается антистатиком. Результаты испытаний, проведенных на фильтре ФР-440 Омского шинного завода, показали, что по эксплуатационным показателям разработанная ткань превосходит лавсановую ткань Л-2, хлопчатобумажную ткань типа Ф ГОСТ 332-69 и шерстяную ткань ЧШ, арт. 21, ГОСТ 17244-71. Фильтровальная ткань ФТ-370-8 имеет саржевое переплетение, основа — лавсан штапельный, уток — комплексная нить. Масса ткани составляет 370 г/м², ее рекомендуется применять для обеспыливания аспирационного воздуха на заводах резинотехнических и кабельных изделий, резиновой обуви и на предприятиях химической промышленности [50].

Классификация тканевых фильтров

Тканевые фильтры различаются по следующим признакам:

по форме фильтровальных элементов (рукавные, плоские, клиновые и др.) и наличию в них опорных устройств (каркасные, рамные);

по месту расположения вентилятора относительно фильтра (всасывающие, работающие под разрежением, и нагнетательные, работающие под давлением);

по способу регенерации ткани (встряхиваемые, с обратной продувкой, с вибровстряхиванием, с импульсной продувкой и др.);

по наличию и форме корпуса для размещения ткани — прямоугольные, цилиндрические, открытые (бескамерные);

по числу секций в установке (однокамерные и многосекционные); по виду используемой ткани (например, стеклотканевые).

Размеры рукавов обуславливаются конструктивными особенностями и экономическими соображениями: чем больше высота рукавов, тем обычно больше их диаметр (это делается для того, чтобы снизить износ ткани на входе в рукав). Диаметр рукавов может быть различен, но, как правило, не превышает 600 мм. Максимальное отношение длины рукава к диаметру достигает 50 : 1; наиболее распространено отношение (16—20) : 1. Чаще всего диаметр рукавов составляет 127, 220, 300 мм, длина 2400—3500 мм, но вместе с тем распространены фильтры с длиной рукавов 10—12 м.

Запыленные газы могут вводиться в рукава снизу или сверху. При вводе снизу ограничивается возможная длина рукавов, так как трудно обеспечить выпадение пыли в течение короткого периода встряхивания. Кроме того, за счет фракционного отсевания в верхней части рукавов накапливается очень тонкая пыль, которая плохо сбрасывается при регенерации. При вводе сверху направление потока газов способствует выпадению пыли в бункер и возможно применение более длинных рукавов, однако в этом случае возникает опасность существенного повышения температуры в верхней части корпуса фильтра, а устройства для натяжения рукавов оказываются более сложными. В рукавах для предотвращения их сжатия и облегчения выпадения пыли в бункер при регенерации на определенных расстояниях часто устанавливаются кольца жесткости. Способы крепления и натяжения рукавов оказывают значительное влияние на сроки их службы.

Конструктивные особенности тканевых фильтров

Тканевые фильтры отличаются по способу подачи пылегазового потока, расположению и конструкции рукавов и их размеру, по виду крепления рукавов, а также методу их регенерации. Определяющими конструктивными особенностями фильтровальных аппаратов являются способ подачи пылегазового потока в рукава и принятая система их регенерации. На рис. 3.11 приведены три способа подачи пылегазового потока в рукавный фильтр: верхний, нижний и комбинированный.

При верхнем подводе (см. рис. 3.11, б) создаются благоприятные условия для вывода уловленной пыли. В ряде случаев это способствует созданию режима авторегенерации без внешнего импульса системы регенерации. Здесь появляется возможность применения длинных рукавов, однако в этом случае возникает опасность существенного повышения температуры в верхней части корпуса фильтра, а устройства для натяжения рукавов оказываются более сложными. Открытые с двух сторон рукава используются в фильтрах с комбинированной подачей пылегазового потока, однако в этих аппаратах теряется основное преимуще-

щество фильтров с верхним подводом, так как восходящий поток препятствует осаждению крупных фракций пыли.

Эффективность работы фильтра в большой степени зависит от конструкции и исполнения узлов крепления фильтрующего элемента к корпусу фильтра. Пропуск даже незначительного количества неочищенного газа в узлах крепления резко снижает эффективность фильтра. Принимая во внимание, что в промышленных фильтрах число рукавов измеряется сотнями и тысячами, следует особенно тщательно подходить к конструированию, изготовлению и сборке всех элементов крепления рукавов. Обычное крепление осуществляется наложением хомута, который зажимает конец рукава в канавке, образованной двумя выступами, выполненными на патрубке. Чтобы рукав не вытянулся из-под хомута, в край ткани шьют кольцо из жгута той же ткани или другого эластичного материала (рис. 3.12, а).

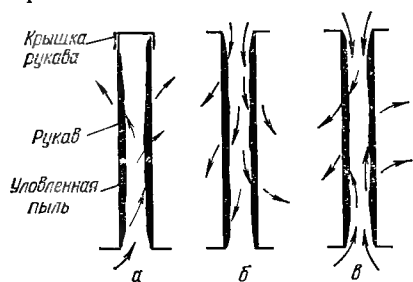


Рис. 3.11. Способ подвода газопылевого потока в рукава:

а — с нижним подводом; б — с верхним подводом; в — с двусторонним подводом

длит к пропуску неочищенного газа. В связи с тем что узел крепления должен быть быстроразъемным для проведения замены рукавов, хомуты затягивают и закрепляют с помощью защелок различного типа (см. рис. 3.12, б). Хомуты обычно выполняют из тонкой стальной ленты. В этой связи определенный интерес представляет применение гофрированной ленты, что позволяет прижать ткань к патрубку по всей окружности и более равномерно распределить складки, образующиеся при затяжке.

Наличие следов коррозии на деталях, соприкасающихся с фильтровальным материалом, значительно увеличивает вероятность его износа. Поэтому детали крепления изготавливают из нержавеющей стали либо защищают антикоррозионными покрытиями. Для уменьшения износа рукавов практикуется обклейка патрубков тканью или пленочными материалами.

Наряду с зажимом хомутами применяют и другие способы крепления фильтровального материала. Например, шьют в край рукава сплошное кольцо плоской пружинной ленты. Чтобы установить рукав, пружину сжимают и пропускают в специальное гнездо, выполненное в перегородке, где пружина разворачивается и прижимает рукав к стенкам гнезда, чем обеспечивается необходимое уплотнение (рис. 3.13). Этот способ крепления, обладая определенными достоинствами, связанными с отсутствием дополнительных деталей крепления (только кольцо, шитое в рукав), требует высокой точности изготовления сопрягаемых элементов — гнезда для крепления рукава и пружинного кольца. Известны подобные узлы крепления с шитыми в рукав круглыми пружинными кольцами взамен плоских. Разновидностью крепления ткани являются самозаклинивающиеся кольца, примененные в аппаратах типа СМЦ (рис. 3.14).

Крепление фильтровального материала в верхней части рукава к колпачку обычно выполняют аналогично нижнему креплению. Однако

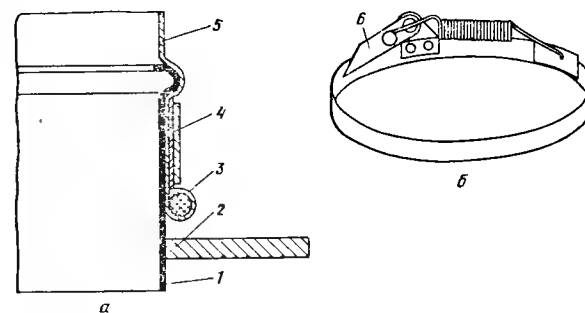


Рис. 3.12. Крепление рукава хомутами:

а — узел крепления в разрезе; б — хомут; 1 — патрубок; 2 — перегородка; 3 — шнур; 4 — хомут; 5 — рукав; 6 — защелка

Рис. 3.13. Крепление рукава с шитой пружиной:

1 — рукав; 2 — пружинное кольцо; 3 — перегородка

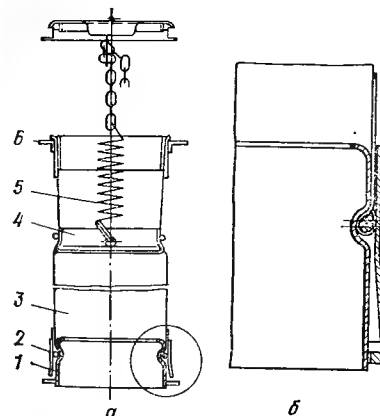
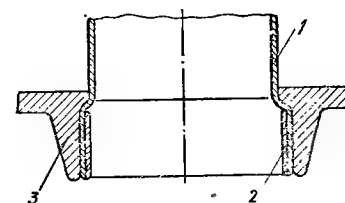


Рис. 3.14. Рукав, открытый с двух сторон, с креплением самозаклинивающими кольцами:

а — общий вид; б — узел крепления; 1 — патрубок; 2 — кольцо самозаклинивающееся; 3 — рукав; 4 — кольцо верхнее; 5 — пружина; 6 — верхняя перегородка



Рис. 3.15. Бесколпачковое крепление верхнего конца рукава:

1 — крюк подвеса; 2 — поперечный шов; 3 — рукав

возможны и другие варианты крепления. На рис. 3.15 показано бесколпачковое исполнение верхнего крепления. Верхний конец рукава защи-

вают на некотором расстоянии от края и оставшийся свободный участок продевают в крюк специальной формы, укрепленный на раме.

Важным условием надежной работы фильтров является достаточное натяжение рукава. Ослабленные участки, на которых образуются складки, быстро изнашиваются. В распространенном креплении рукавов с нижним подводом газа подвес колачка к поддерживающей раме осуществляется через пружину, натягивающую рукав при его вытяжке (см. рис. 3.14).

Способы регенерации тканевых фильтров

Способ регенерации является одним из важнейших конструктивных признаков фильтра. Структура фильтровального материала определяет гидравлическое сопротивление аппарата, его нагрузку по газу, необходимую площадь фильтрации, а тем самым и размеры фильтра, энергозатраты, т.е. экономичность и конкурентоспособность фильтра.

Регенерация фильтровальных элементов сводится к приложению тех или иных нагрузок к запыленному фильтровальному материалу, обеспечивающих в конечном итоге разрушение и отделение пылевого слоя от материала. Для приложения нагрузок могут использоваться следующие способы: механические (обычно встряхивание, иногда кручение) или пневматические (различные виды обратной продувки: непрерывная, пульсирующая, импульсная, струйная). Механическое приложение нагрузки сочетается, как правило, с непрерывной обратной продувкой. Остальные виды пневматических воздействий применяются в основном самостоятельно. Возможны также другие способы регенерации с применением, например, акустических колебаний, однако они не получили распространения в промышленности (рис. 3.16).

Механизм разрушения пылевого слоя при регенерации различными способами имеет общие черты. Практически во всех способах разрушение пылевого слоя происходит по ослабленным аутогезионным связям, обычно без нарушения адгезионного взаимодействия частиц с волокнами, так как последнее велико. Поэтому важное значение для удаления пыли имеют структурные неоднородности слоя, обусловленные наличием крупных частиц в слое, подвижностью нитей в тканях, колебаниями фильтровального материала.

В зависимости от способа регенерации различают следующие пять типов фильтров:

фильтр с механическим встряхиванием (чисто механическая регенерация). Применяется редко, причем для очистки газов небольшого объема, содержащих грубую, легко отряхиваемую пыль. Скорости фильтрации лежат между 0,4 и 1,2 м/мин. Фильтровальным материалом служат ткани из природных или синтетических волокон. Конструкция получается простой (аппараты ФР-6П, ФТ-2М, ФТНС-М и др.);

фильтр со встряхиванием при одновременной обратной продувке воздухом низкого давления (менее 10 кПа). Расход воздуха при регенерации в этом случае такой же, как и при фильтрации. В отдельных случаях при рыхлой структуре слоя у фильтров с такой регенерацией скорость фильтрации может достигать 2 м/мин благодаря глубокой очистке ткани (аппараты ФРУ, ФРВ-20, ФРН-30, РФ1 и др.);

фильтр с одной обратной продувкой воздухом низкого давления (менее 10 кПа), который может подаваться непрерывно или в виде пульсирующего потока. Способ находит преимущественное применение при длине рукавов до 10 м и диаметре порядка 300 мм. Фильтры оснащаются рукавами из синтетической ткани, стеклотканью или иглопробивного войлока. В зависимости от вида пыли (грубой или средней

дисперсности) нагрузки могут составлять 0,6—2,5 м/мин (аппараты ФР, ФРДО и др.);

фильтр с импульсной регенерацией воздухом высокого давления ($0,5 \cdot 10^5$ до $7 \cdot 10^5$ Па). Рукава надеваются на каркасы. В ходе регенерации рукава раздуваются, что обеспечивает дополнительное механическое воздействие. Ускорение слоя пыли сопровождается продуванием запыленного фильтровального материала. Скорости фильтрации лежат между 1,5 и 2,5 м/мин в зависимости от адгезионных свойств слоя пыли.

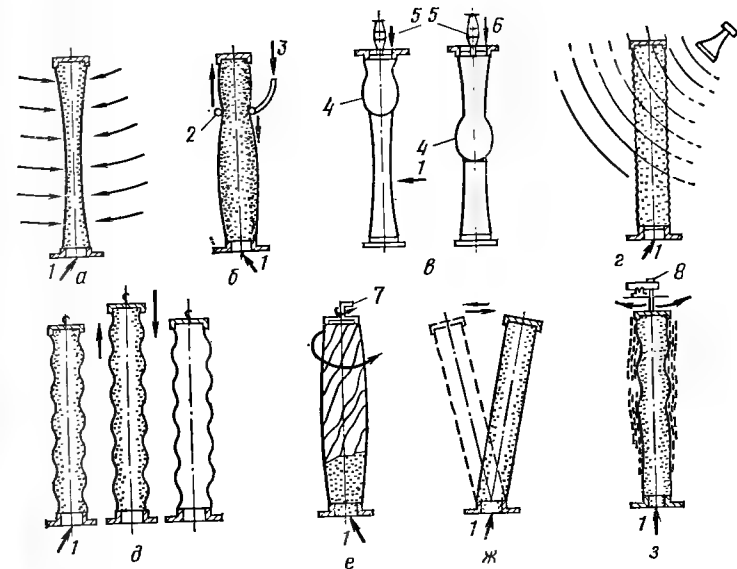


Рис. 3.16. Способы регенерации рукавных фильтров:

а — обратная продувка; б — струйная продувка; в — импульсная продувка; г — акустическая регенерация; д — механическое встряхивание; е — кручение рукавов; ж — качание рукавов; з — вибрация; и — направление движения запыленного газа; к — движущееся кольцо; л — продувочный воздух; м — пузырек сжатого воздуха; н — эжектор; о — импульс давления; п — реверсивное вращательное устройство; р — вибратор

ли. Хотя применение сжатого воздуха не является дешевым способом регенерации, тем не менее фильтры с импульсной продувкой благодаря повышенной нагрузке по газу получили широкое распространение (аппараты ФРКИ, ФРКДИ, ФРКН);

фильтры со струйной продувкой, характеризующиеся тем, что воздух обратной продувки проходит не через всю поверхность рукава, а лишь через узкий участок, расположенный напротив кольцевого сопла со щелью шириной от 0,8 до 6 мм. Сопло непрерывно перемещается по высоте рукава, обеспечивая поочередную очистку всей его поверхности. При этом пыль удаляется полностью, так что эффективность пылеулавливания определяется способностью чистого фильтровального материала (плотный войлок) захватывать частицы пыли. Преимуществом таких фильтров является повышенная скорость фильтрации (до 6 м/мин), однако они применяются лишь при пониженных концентрациях пыли на входе — не более 50 мг/м^3 (аппарат РФОСП) [56].

Регенерация обратной продувкой является наиболее распространенной и используется для всех видов фильтровальных элементов (рукава или кассеты, тканые или войлочные материалы, осаждение пыли на внутренней или наружной поверхности рукава, одна или несколько секций). Существует несколько способов создания обратного потока, обеспечивающих непрерывную работу. Сопло сжатого воздуха на стороне чистого воздуха каждого рукава инжектирует воздух высокого давления в рукав в обратном направлении по отношению к нормальному в виде импульсов длительностью от 0,1 до 0,04 с в случае систем с рукавами с закрытыми концами, прикрепленными к трубной решетке камеры чистого воздуха (рис. 3.17).

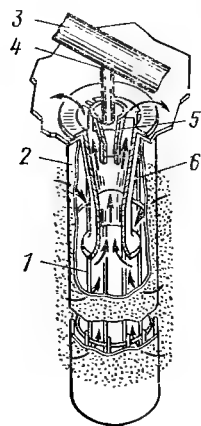


Рис. 3.17. Система импульсной регенерации [57]:

1 — каркас рукава; 2 — фильтрующий рукав; 3 — коллектор сжатого воздуха; 4 — продувочное сопло; 5 — вторичное сопло; 6 — насадка Вентури

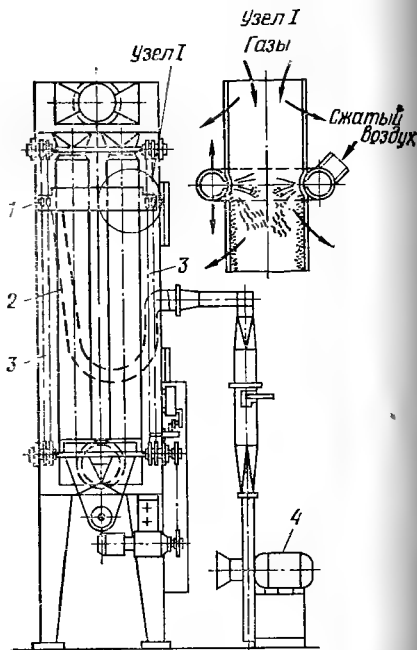


Рис. 3.18. Рукавный фильтр с обратной струйной продувкой:

1 — рама с продувочными кольцами; 2 — гибкий шланг для подвода продувочного воздуха; 3 — цепи для перемещения рамы; 4 — двигатель с высоконапорным вентилятором

внутри каждого рукава по мере того, как сопла проходят над рукавами. Интервал времени между регенерациями определяется скоростью вращения камеры.

К уравновешенной раме прикреплено несколько продувочных колец, окружающих каждый рукав. Рама медленно движется вверх и вниз с помощью цепей, укрепленных на шкивах. Воздух непрерывно подает-

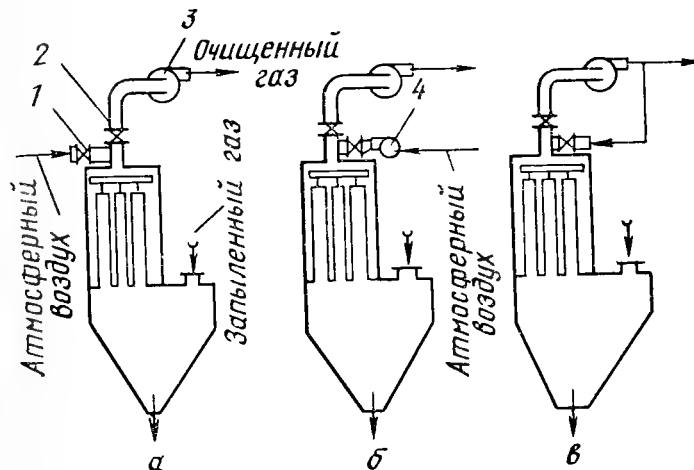


Рис. 3.19. Схемы работы фильтров с обратной продувкой:

а — фильтр с продувкой за счет подсоса воздуха; б — фильтр с продувкой с помощью вентилятора продувки; в — фильтр с продувкой за счет давления основного вентилятора; 1 — клапан продувочного газа; 2 — клапан очищенного газа; 3 — основной вентилятор; 4 — дополнительный вентилятор

ся к продувочным кольцам от наружного вентилятора через шланг (рис. 3.18).

Камера нагнетания, движущаяся горизонтально, устанавливается над выпускным патрубком чистого воздуха каждой вертикальной линии рукавов типа «конверт». Обратный поток может подаваться двумя способами: атмосферный воздух может проходить через рукав в обратном направлении по сравнению с нормальным за счет вентилятора, чистый воздух может вдуваться в рукава от отдельного вентилятора, установленного на движущейся камере нагнетания (рис. 3.19).

Регенерация с помощью механического встряхивания

Механическое встряхивание закрепленных на общей раме закрытых сверху рукавов наиболее эффективно в продольном направлении, но при этом сильно изнашиваются рукава, особенно в нижней части. Встряхивание должно быть кратковременным и резким, но не настолько сильным, чтобы вызвать большие механические усилия в ткани. Колесательные перемещения верхних частей рукавов в горизонтальном направлении вызывают значительно меньший износ, но они и менее эффективны, так как колебания плохо распространяются по длине рукавов.

Пыль удаляется по длине рукава неравномерно. Обычно в средней части рукавов остается больше пыли, что вызывает неравномерное рас-

Вариацией этого метода является разделение групп рукавов (включая камеру чистого воздуха) на зоны с помощью внутренних перегородок. Камеры чистого воздуха сообщаются с выхлопной трубой через клапаны. Каждая зона снабжена одним импульсным клапаном, который подает сжатый воздух в группу рукавов. Во время цикла регенерации клапан в регенерируемой зоне закрывается, перекрывая воздушный поток через зону. Из камеры, в которую поступает воздух от отдельного вентилятора, подается обратный поток к рукавам с закрытыми концами, которые крепятся, как и в предыдущем случае, но не разделены на зоны. Камера вращается, и воздух обратной продувки инжектируется

пределение скоростей газов и более быстрое изнашивание тех мест, где интенсивнее происходит процесс регенерации — в верхней или нижней частях, в зависимости от способа встряхивания. Минимальная фильтрующая поверхность тканей и максимальный срок службы рукавов достигаются при сочетании коротких циклов фильтрации и регенерации.

Операция встряхивания рукавов в продольном направлении заключается в поднятии штанги подвеса на 7—10 см и последующем свободном падении ее с этой высоты вместе с рукавами на подушки, которые амортизируют удар. Подъем и сброс рукавов повторяются 5—15 раз в зависимости от свойств пыли. Этот способ регенерации в сочетании с обратной продувкой наиболее эффективен и применяется для тяжелых ворсовых тканей, на которых удерживается в равновесном состоянии до 1 кг/м² пыли. Колебания рукавов в поперечном направлении чаще используются для тонких тканей с гладкой поверхностью.

Механизмы встряхивания должны быть доступны для обслуживания, а их изнашивающиеся части выведены из газового потока.

Регенерация с помощью аэродинамического встряхивания

Аэродинамическое встряхивание может осуществляться путем подачи импульса сжатого воздуха внутрь каждого фильтрующего элемента (рис. 3.20). Такой вид регенерации используется в каркасных рукавных и плоских фильтрах. Избыточное давление сжатого воздуха при регенерации составляет 0,4—0,8 МПа, длительность импульса — от 0,1 до

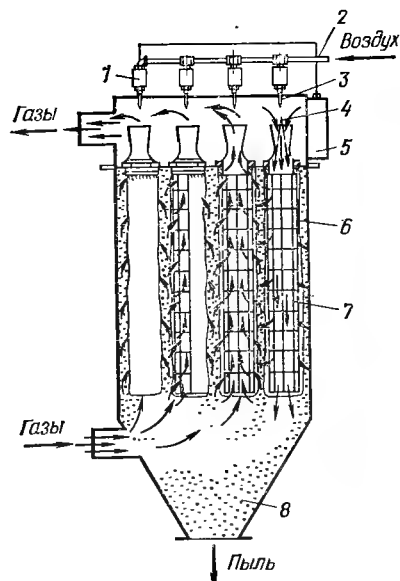


Рис. 3.20. Каркасный рукавный фильтр с импульсной продувкой [44];

1 — электромагнитный клапан; 2 — труба для ввода сжатого воздуха; 3 — сопло; 4 — струи сжатого воздуха; 5 — прибор автоматического управления регенерацией; 6 — рукав; 7 — каркас; 8 — бункер

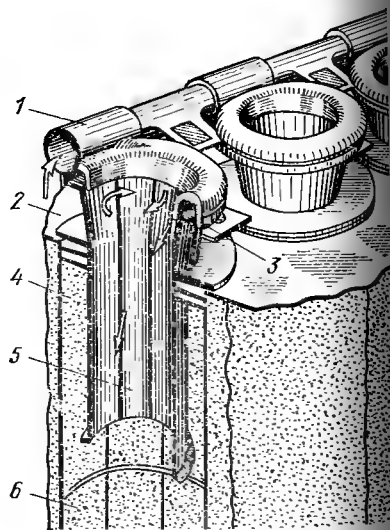


Рис. 3.21. Эжектор с тангенциальным вводом сжатого воздуха:

1 — коллектор сжатого воздуха; 2 — камера чистого газа; 3 — кольцевая щель; 4 — опорный каркас рукава; 5 — насадок Вентури; 6 — рукав

0,2 с, необходимая частота импульсов зависит от характера изменения сопротивления фильтра и обычно составляет 5—10 импульсов в минуту на каждый рукав. Увеличение длительности импульса неэффективно, а остаточное равновесное сопротивление фильтра обратно пропорционально квадрату давления сжатого воздуха в ресивере, частоте импульсов в степени 0,5 и прямо пропорционально входной концентрации в степени 0,25.

В рассматриваемом методе механическое воздействие, обеспечивающее деформацию ткани, сочетается с обратной продувкой, так как происходит эжектирование очищенных газов в рукав (см. рис. 3.17). В качестве фильтрующего материала обычно используются фетры, так как ткани часто очищаются слишком интенсивно; длина рукавов не превышает 2,5—3,5 м.

С целью интенсификации работы фильтров разработаны эжекторы, в которых эффект центральной струи сочетается с воздействием тангенциального потока воздуха по периферии сопла (рис. 3.21), что обеспечивает достижение сверхзвуковой скорости в продувочном сопле. Известны также конструкции с двумя эжекторами в каждом рукаве в верхней и нижней частях, что позволяет увеличить длину рукавов до 5—6 м [57, 58].

Конструкции тканевых фильтров

В СССР выпускается несколько десятков типов тканевых фильтров. Большинство из них разработано применительно к специфическим физико-химическим свойствам пылегазовых потоков в отраслях промышленности. Поэтому многие аппараты изготавливаются индивидуально или малыми сериями. В Справочнике рассмотрены фильтры общепромышленного назначения, серийно выпускаемые специализированными заводами. Среди фильтров с поэлементной импульсной продувкой сжатым воздухом получили преимущественное развитие фильтры типов ФРКИ (ФРКН) и ФРКДИ (ФРКДН).

Скорость фильтрования в этих аппаратах при прочих равных условиях на 20—30 % выше, чем в фильтрах с механической регенерацией и обратной продувкой, благодаря более эффективной регенерации с помощью очень коротких импульсов (длительностью 0,1—0,2 с). При эффективной регенерации общий срок службы рукавов в этих фильтрах более высокий, рукава меньше изнашиваются и до их замены остаточная запыленность сохраняется на уровне 15—50 мг/м³, и лишь в отдельных случаях эти значения превышаются. Гидравлическое сопротивление обычно поддерживается на уровне 1000—1500 Па.

Рукавные фильтры типов ФРКИ являются универсальными аппаратами и предназначены для улавливания пылей средним диаметром частиц 3 мкм и более, не являющихся токсичными, пожаро- или взрывоопасными. Применяются в промышленности строительных материалов, черной и цветной металлургии, пищевой и химической промышленности. Условное обозначение типоразмера фильтра: Ф — фильтр; Р — рукавный; К — каркасный; И — с импульсной продувкой; цифра после буквенных обозначений — активная поверхность фильтрации. В процессе фильтрации запыленный газ проходит через ткань закрытых снизу рукавов в направлении снаружи внутрь, выходит через верхний коллектор и удаляется из аппарата. Каждый рукав в фильтре натянут на жесткий каркас и закреплен на верхней решетке (рис. 3.22).

Фильтры ФРКИ-30, ФРКИ-60 и ФРКИ-90, состоящие соответственно из одной, двух и трех секций, имеют одинаковую высоту рукава 2 м. Количество секций в фильтрах ФРКИ-180 (однорядных) и ФРКИ-360 (двухрядных) увеличено соответственно до 4 и 8, а высота рукавов —

до 3 м. Вход запыленного газа в корпус — через боковые стенки бункеров; выход газа — сверху. Исключение составляет фильтр ФРКИ-360, в котором входной и выходной штуцера расположены сверху.

Регенерация осуществляется импульсами сжатого воздуха, поступающего внутрь рукавов сверху через отверстия в продувочных коллекторах. Длительность импульсов 0,1—0,2 с. Подача импульсов обеспечивается автоматическими электромагнитными клапанами. Регенерация производится без отключений секций. Рукавные фильтры, регенера-

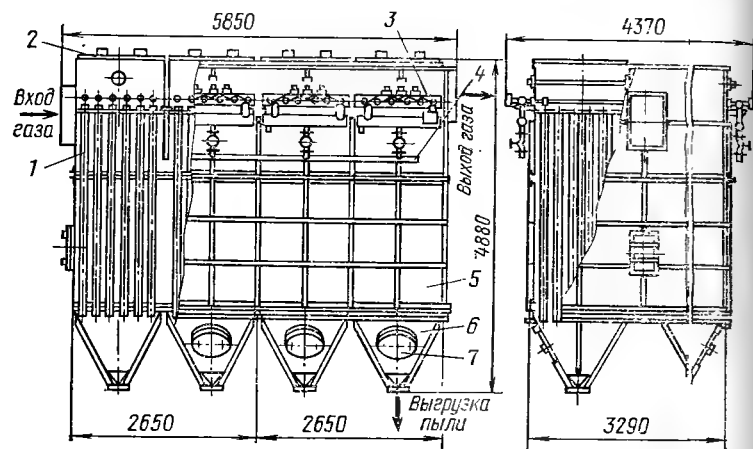


Рис. 3.22. Рукавный фильтр типа ФРКИ:

1 — рукав; 2 — крышка; 3 — клапанные секции; 4 — коллектор; 5 — корпус; 6 — бункер; 7 — люк

ция которых производится сжатым воздухом давлением 0,3 и 0,6 МПа, конструктивно различаются диаметром отверстий на продувочных трубах. При заказе фильтров следует указывать требуемое давление сжатого воздуха.

Для рукавных фильтров типа ФРКИ применяется фильтрующий материал лавсан (арт. 216, 217 ТУ 17 РСФСР 8174—75 или арт. 5468 ТУ 17 РСФСР—8053—75); корпус и бункера фильтров изготовлены из углеродистой стали. Система регенерации рассчитана на использование сжатого воздуха давлением 0,6 МПа. В случае эксплуатации фильтров при пониженном давлении сопловые отверстия на раздающих трубах рассверливаются на месте монтажа согласно прилагаемой инструкции. Выгрузка пыли обычно производится через шлюзовые затворы. В табл. 3.10 приведены основные технические характеристики фильтров ФРКИ. Изготовитель — Семibrатовский экспериментальный завод газоочистительной аппаратуры (пос. Семibrатово Ярославской обл.).

Рукавные фильтры типа ФРКДИ предназначены для улавливания нетоксичных и невзрывоопасных пылей средним диаметром частиц не менее 3 мкм при температуре газа до 130 °С. Фильтр заключен в корпус коробчатой формы и разделен на два ряда секций. В каждой секции расположено по 36 рукавов высотой 6 м, закрепленных в верхней и нижней частях (рис. 3.23).

Пылегазовый поток поступает в аппарат через коллектор, расположенный на одном из торцов. Пыль осажается на внешней поверхнос-

ТАБЛИЦА 3.10
ОСНОВНЫЕ ТЕХНИЧЕСКИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ ФИЛЬТРОВ ФРКИ*

Показатель	ФРКИ-30	ФРКИ-60	ФРКИ-90	ФРКИ-180	ФРКИ-360
Поверхность фильтрации, м ²	30	60	90	180	360
Число рукавов	36	72	108	144	288
Высота рукава, м	2	2	2	3	3
Число электромагнитных клапанов	6	12	18	24	48
Число секций	1	2	3	4	8
Наибольший расход сжатого воздуха, м ³ /ч	10	20	30	60	120
Габаритные размеры, мм:					
длина	1458	2820	4140	5480	5850
ширина	2060	2060	2060	2060	4370
высота	3620	3620	3620	4620	4880
Масса, т	1,3	2,5	2,5	5,5	10,5

* Диаметр рукава 130 мм. Гидравлическое сопротивление 1,2—2,0 кПа; давление продувочного воздуха 0,3—0,6 МПа; рабочее давление (разрежение) в аппарате до 5 кПа.

ти рукавов и периодически сбрасывается с них при помощи импульсов сжатого воздуха, подаваемого сверху и снизу одновременно. Пыль ссыпается в бункер, откуда с помощью шнеков удаляется из фильтра. Расход сжатого воздуха на продувку составляет 0,2 % от расхода пылегазового потока.

В фильтрах типа ФРКДИ используются те же фильтровальные ткани, что и в фильтрах типа ФРКИ. Корпус и бункера фильтров изготовлены из углеродистой стали. Технические характеристики фильтров ФРКДИ приведены в табл. 3.11. Нормальные условия эксплуатации — отапливаемые помещения. Условное обозначение типоразмера фильтра: Ф — фильтр; Р — рукавный; К — каркасный; ДИ — с двусторонней импульсной продувкой; цифры после буквенных обозначений — поверхность фильтрации — м². Изготовитель — Семibrатовский экспериментальный завод газоочистительной аппаратуры (пос. Семibrатово Ярославской обл.). Общим параметром для фильтров ФРКИ и ФРКДИ является допустимая запыленность газов на входе в фильтр 50 г/м³.

Подача сжатого воздуха для регенерации рукавов фильтров ФРКИ и ФРКДИ осуществляется с помощью мембранного электромагнитного клапана (рис. 3.24, а). Рабочий цикл клапана составляет 0,1—0,3 с. Сжатый воздух под давлением 0,5—0,6 МПа подается в коллектор фильтра при отжатой мембране клапана. Перемещение мембраны осуществляется электромагнитным клапаном.

При закрытом клапане давление в кольцевой камере остается одинаковым с обеих сторон мембраны. Под действием пружины и разности давлений между трубой и за мембраной последняя плотно прижимается к седлу, закрывая доступ сжатого воздуха к соплам. При включении

ТЕХНИЧЕСКИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ ФИЛЬТРОВ ФРКДИ*

Показатель	ФРКДИ-550	ФРКДИ-720	ФРКДИ-1100
Поверхность фильтрации, м ²	550	720	1100
Число рукавов	216	288	432
Число электромагнитных клапанов	72	96	144
Число пылевых выпускных отверстий	2	2	2
Наибольший расход сжатого воздуха, м ³ /ч	150	200	300
Габаритные размеры, мм:			
длина	4940	6280	8955
ширина	4370	4370	4370
высота	9210	9210	9210
Масса, т	20,5	28,7	33

* Гидравлическое сопротивление, 1,2—1,8 кПа; давление продувочного воздуха 0,6 МПа; диаметр рукава 130 мм; высота рукава 6 м.

тока сердечник электромагнита поднимается и воздух из камеры за мембраной выходит в атмосферу через отверстие, которое при обесто-

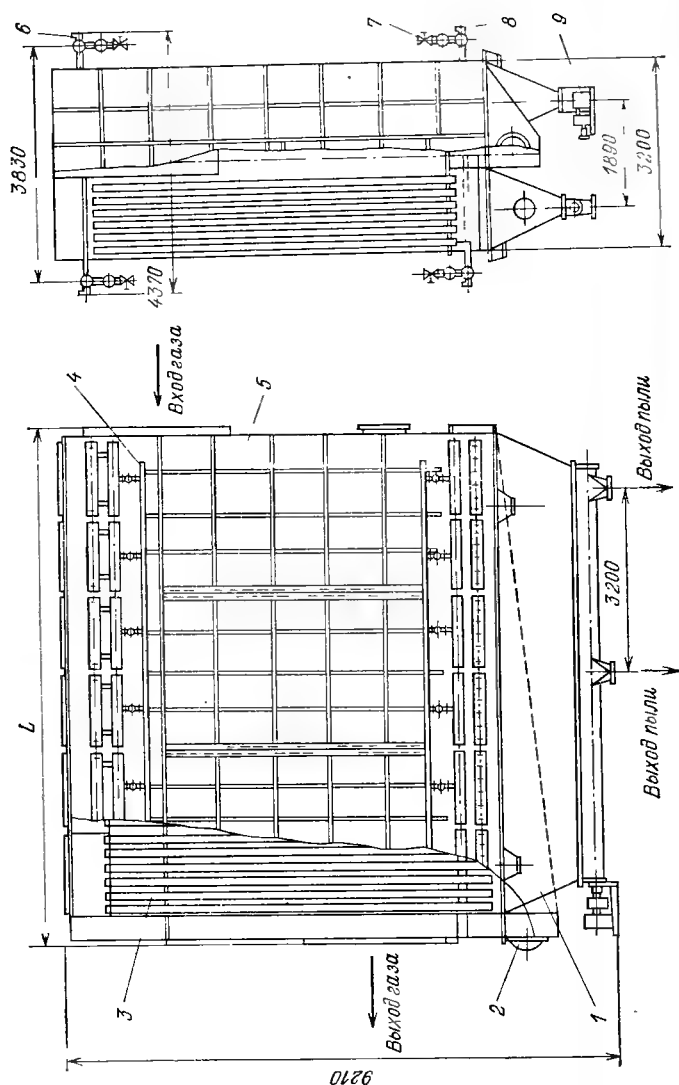


Рис. 3.23. Рукавный фильтр типа ФРКДИ
1 — буферная часть корпуса; 2 — люк; 3 — рукав; 4 — коллектор; 5 — корпус; 6 — клапанная секция; 7 — испытатель; 8 — воздухоподъем; 9 — винтовой транспортер

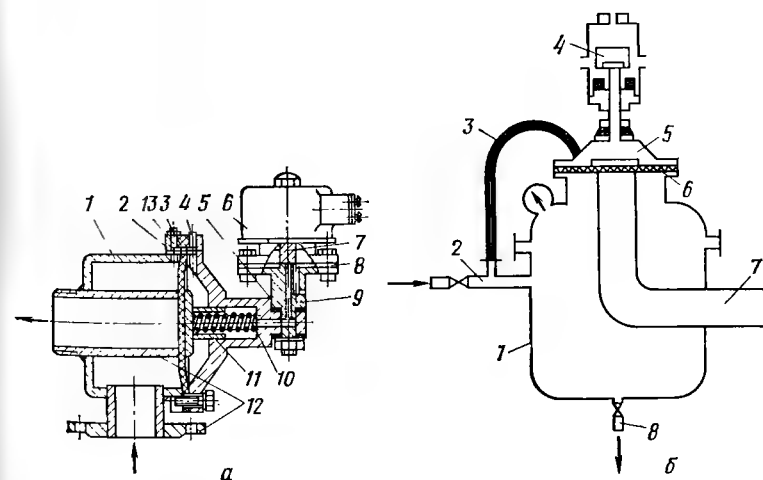


Рис. 3.24. Устройство подачи сжатого воздуха для регенерации рукавов:

а — мембранный электромагнитный клапан; 1 — корпус; 2 — регулируемое отверстие; 3 — мембрана; 4 — контрольный винт; 5 — прокладка; 6 — корпус электропривода; 7 — золотник клапана; 8 — седло; 9 — стойка; 10 — пружина; 11 — прижимной грибок; 12 — патрубок; 13 — регулировочный винт; 14 — пневматический пульсатор

ченном электромагните закрывается сердечником. При отключении тока мембрана возвращается в прежнее положение, затем соответственно включается другой клапан и т. д.

Для эффективного удаления уловленной пыли с рукавов в верхней части каждого рукава устанавливается сопло. При подаче импульса сжатого воздуха происходит эжектирование очищенного газа обратно в рукав, в результате чего фильтрующий материал резко увеличивается в объеме. Таким образом, при регенерации осуществляется обратная продувка, сопровождаемая деформацией рукавов. Для автоматического управления электромагнитными мембранными клапанами с подачи электрических импульсов определенной длительности и заданными интервалами включения фильтры снабжают программаторами импульсов. Один программатор может обслуживать несколько фильтров и рассчитан на подачу импульсов к 25 или 50 точкам; в каждой точке можно подключать до 4 клапанов.

В НИПИОТстроме разработан [59] пневматический пульсатор (рис. 3.24, б), работающий при давлении сжатого воздуха 0,07—0,5 МПа, который через патрубок поступает одновременно в нижнюю 1 и верхнюю 2 камеры; разделенные между собой эластичной диафрагмой 3. С повышением давления в камерах до заданной величины золотник 4 открывается от седла штуцера и воздух из камеры 5 выбрасывается в атмосферу. Под давлением газа, оставшегося в камере 1, диафрагма 6 резко поднимается вверх, обеспечивая выход воздуха через патрубок 7 за 0,2—0,5 с. Такие пневматические пульсаторы эксплуатируются с июля 1979 г. в системе регенерации рукавного фильтра К-114 (ГДР) сырьевых силосов цементного завода «Первомайский».

Сжатый воздух системы регенерации распределяется с помощью вентилей по пульсаторам, срабатывание которых обеспечивается настройкой магнитных клапанов на заданное давление. Распределение импульса сжатого воздуха осуществляется от каждого пульсатора на

две секции через излучающие насадки. Фильтр работает без отключения секций на продувку и регенерацию. Благодаря применению пульсатора объем подсосов уменьшился, а срок службы рукавов увеличился.

Рукавные фильтры типа ФРО предназначены для обеспыливания сухих газов. При использовании рукавов из лавсана фильтры могут работать при температуре до 130 °С, при использовании рукавов из стеклоткани — при температуре до 220 °С. Аппараты могут быть применены в цветной и черной металлургии, на машиностроительных заводах, в промышленности строительных материалов и в других отраслях промышленности при объемах обеспыливаемого газа свыше 50 тыс. м³/ч.

Отличительной особенностью фильтров является использование рукавов большого диаметра и высоты, а также применение клапанов тарельчатого типа с приводом от пневмоцилиндров для переключения секций на регенерацию. Пылегазовый поток подводится в открытые снизу рукава, закрепленные на нижней решетке. Уловленная пыль периодически удаляется путем обратной продувки рукавов потоком очищенного газа.

Условное обозначение аппаратов типа ФРО: рукавный с регенерацией обратной продувкой; цифры после букв — поверхность фильтрации, м²; следующая группа цифр — допустимая рабочая температура (при обозначении эта группа цифр может быть опущена); последняя цифра — номер габаритной группы.

Фильтры могут быть установлены в здании или на открытой площадке. Крышку корпуса теплоизолируют матами из минеральной ваты. Нижнюю часть фильтра до опорного пояса размещают в утепленном помещении (рис. 3.25). Для удобства транспортировки корпус аппарата изготовлен из отдельных частей, свариваемых на месте монтажа аппарата. Размер пылевыпускных отверстий для всех типоразмеров фильтров одинаков (400×400 мм).

Фильтрующие материалы — лавсан Л-4 (арт. 216, 217, ТУ 17 РСФСР — 8174—75); лавсан (арт. 5468, ТУ 17 РСФСР — 8503—75);

ТЕХНИЧЕСКАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА ФИЛЬТРОВ ФРО*

Показатель	ФРО-1250-1	ФРО-1650-1	ФРО-2500-1	ФРО-4100-2
Поверхность фильтрации, м²	1266	1688	2530	4104
Число рукавов	252	336	504	432
Число секций	6	8	12	8
Высота рукава, м	8	8	8	10
Диаметр рукава, мм	200	200	200	300
Габаритные размеры, мм:				
длина	5100	6600	9600	12 600
ширина	6840	6840	6840	9840
высота	13 770	13 770	13 770	16 200
Масса, т	37,8	50,4	75,59	108,5

* Гидравлическое сопротивление фильтра 1—2 кПа; наибольшее разрежение

ТАБЛИЦА 3.12

РИСТИКА ФИЛЬТРОВ ФРО*

ФРО-5100-2	ФРО-6000-2	ФРО-7000-2	ФРО-8000-2	ФРО-20 000-3	ФРО-24 000-3
5130	6156	7182	8208	20 520	24 624
540	648	756	864	2160	2592
10	12	14	16	10	12
10	10	10	10	10	10
300	300	300	300	300	300
15 600	18 600	21 600	24 600	30 400	36 400
9840	9840	9840	9840	21 000	21 000
16 200	16 200	16 200	16 200	22 640	22 640
136	162,8	190	217	540	650

в фильтре 6 кПа.

лавсан (арт. 86013, ОСТ 17—452—74) и стеклоткань ТСФТ-2-СГФ (ТУ 6—11—375—70). Изготовитель — Семибратовский экспериментальный завод газоочистительной аппаратуры (пос. Семибратово Ярославской обл.). Рукавные фильтры подразделяются на три габаритные группы, каждая из которых включает в себя несколько типоразмеров (табл. 3.12).

Рукавные фильтры типа СМЦ предназначены для очистки сухих технологических газов температурой не более 130 °С в промышленности строительных материалов. Одной из основных особенностей фильтров СМЦ является направление движения запыленного газа в аппарате

Регенерация ткани производится путем обратной поочередной продувки рукавов сжатым воздухом или воздухом низкого давления либо с помощью обратной продувки рукавов воздухом низкого давления при их одновременном механическом встряхивании (фильтры РВ, ГОСТ 20877—75). Фильтры с механическим встряхиванием (РВ) применяются в исключительных случаях по согласованию с ВНИИЦементом. Выпускаются несколько видов фильтров: СМЦ-101А, СМЦ-166Б и др. Управление клапанами переключения секций на регенерацию осуществляется сжатым воздухом.

Рукавные фильтры типа СМЦ-101А подразделяются на два вида: с механизмом встряхивания (выпускаются двух габаритов: I, II) и без механизма встряхивания (изготавливаются трех габаритов: I, II и III). В зависимости от требуемой поверхности фильтрации и наличия производственных площадей фильтры могут быть сгруппированы в сборки, состоящие из одного и более фильтров. Допускается последовательная установка не более четырех фильтров габарита I и не более десяти габарита II и III (табл. 3.13). Фильтрующий материал — лавсан (арт. 86013, ОСТ 17—452—74). Допускается применение и других материалов с такими же или лучшими физико-механическими свойствами.

Рукавные фильтры типа СМЦ-166Б в зависимости от требуемой поверхности фильтрации могут быть сгруппированы в сборки, состоящие из одного и более фильтров (но не более четырех в одном ряду). Фильтрующий материал — лавсан (арт. 216, 217, ТУ 17 РСФСР — 8174—75). Изготовитель фильтров типа СМЦ — Куйбышевский завод «Строммашина».

Фильтры с механическим встряхиванием и обратной поочередной продувкой характеризуются подводом запыленных газов в открытые снизу рукава и принципиально одинаковым воздействием на рукава устройств механического встряхивания — перемещением верхних концов рукавов вдоль их оси или в горизонтальном направлении. Конструкции этих фильтров различаются несущественно. Корпуса аппаратов расчи-

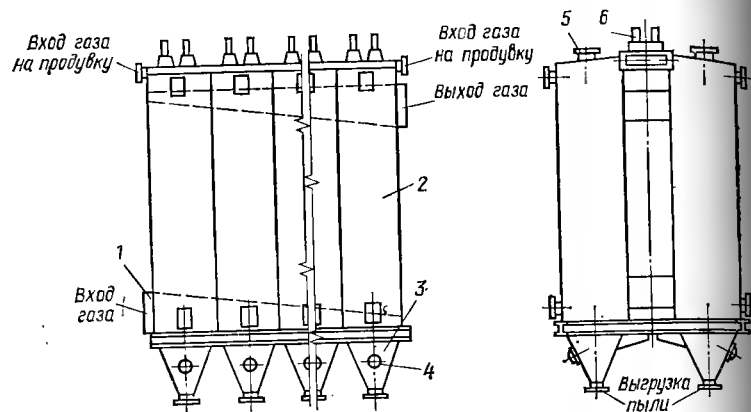


Рис. 3.25. Рукавный фильтр типа ФРО:

1 — входной коллектор; 2 — корпус; 3 — бункер; 4 — люки; 5 — клапан продувочного газа; 6 — клапан запыленного газа

сверху вниз, так же как и осаждаемой пыли, вследствие чего фильтры СМЦ называют «прямоточными». На рис. 3.26 показана схема работы фильтра СМЦ, причем в правой камере секции показан период фильтрации, в левой — регенерации.

Механизм встряхивания в фильтрах СМЦ имеет самостоятельный привод на каждую секцию. В механизме встряхивания на двух тягах подвешены подвижные рамы, состоящие из верхней и нижней плит, жестко соединенных четырьмя штангами. Тяги выведены наружу через отверстия в верхнем блоке секции и прикреплены к подвеске с роликом, которая своей опорной поверхностью лежит на пакете резиновых амортизаторов. Механизм встряхивания включает в себя привод с установленным на валу приводным рычагом и двуплечие рычаги, шарнирно закрепленные на кронштейне.

Каждая секция аппарата состоит из верхнего блока с подводными газоходами, среднего блока и нижнего блока — бункерной части. Секция разделена вертикальной перегородкой на две независимые камеры, позволяющие производить фильтрацию газа одновременно с регенерацией фильтрующей системы. Открытые с двух сторон рукава закреплены на верхней и нижней решетках. Уловленная пыль накапливается на внутренней поверхности рукавов. Пыль из бункера удаляется через затвор, изготовленный в виде эластичного рукава в металлическом кожухе (см. рис. 3.26).

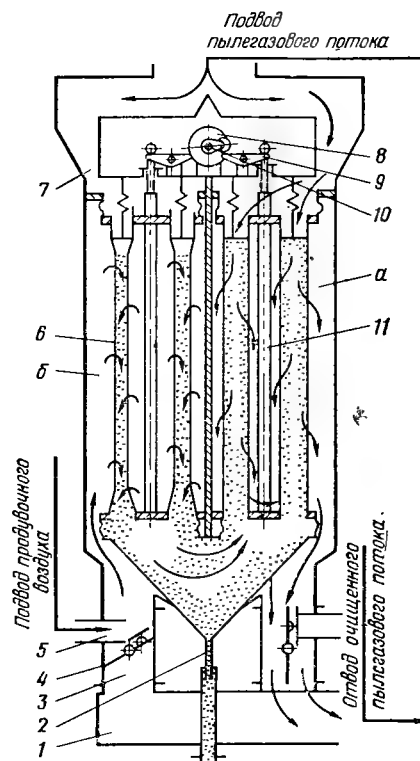


Рис. 3.26. Схема фильтра СМЦ:

а — камера, работающая в режиме фильтрации; б — камера, работающая в режиме регенерации; 1 — коллектор отводящий; 2 — затвор; 3 — коробка клапанная; 4 — клапан; 5 — коллектор продувочный; 6 — рукав; 7 — коллектор подводный; 8 — мотор-редуктор; 9 — рычаг; 10 — кулачок; 11 — рама подвижная

ТАБЛИЦА 3.13
ТЕХНИЧЕСКАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА ФИЛЬТРОВ СМЦ-101А*

Показатель	Габарит		
	I	II	III
Поверхность фильтрации, м ²	55; 50	116; 110	207
Высота рукава, м	2,25	4,5	9
Производительность продувочного вентилатора, м ³ /ч	2000	3000	6000
Габариты, мм	3170×1710× ×5170	3170×1710× ×8940	3170×1710× ×13 760
Масса, т	2,4; 2,75	3,2; 3,6	4,4

* Допустимая запыленность 50 г/м³; диаметр рукава 200 мм; количество рукавов: 18 в камере, 36 в фильтре; гидравлическое сопротивление фильтра перед регенерацией 1900 Па; продолжительность регенерации одной камеры 120—180 с; напор продувочного воздуха 0,1—0,4 МПа.

таны на давление 2,5 кПа. Для фильтров ФРУ и ФРМ-30 корпуса пригодны для работы при разрежении соответственно 30, 60 и 80 кПа.

Фильтры ФРУ, ФРВ-20 и ФРН-30 не имеют бункеров и устанавливаются над пылевыведящими устройствами. Для обратной продувки атмосферным воздухом фильтры ФРВ-20, ФРН-30, Г4-ВФМ и РФГ снабжены клапанными коробками и эксплуатируются при разрежении.

Фильтры ФРУ, ФР-250, УРФМ могут работать под разрежением или давлением, поскольку обратная продувка в них осуществляется только с помощью тягодутьевой машины. Привод системы встряхивания и переключения клапанов продувки всех фильтров производится от электродвигателя, за исключением фильтров УРФМ, комплектуемых пневмоприводами. Основные технические параметры фильтров, регенерируемых встряхиванием с одновременной обратной продувкой, приведены в табл. 3.14.

Области применения в промышленности фильтров данной группы: фильтры ФРУ — пневмотранспортные взрывоопасные системы химической промышленности; фильтры Г4-БФМ — аспирационные устройства и пневмотранспорт различных производств; фильтры ФР-250 — аспирационные системы производства сажи и удобрений; фильтры ФРВ-20, ФРН-30, ФВС-45 — различные операции химических производств; фильтры СМЦ — производство цемента и других строительных материалов; фильтры РФГ и УРФМ — цветная металлургия. На рис. 3.27 приведен общий вид фильтра Г4-БФМ.

Рукавный фильтр УРФМ предназначен для обеспыливания технологических газов и аспирационного воздуха печей по переработке цветных и редких металлов. Крупный рукавный фильтр УРФМ (рис. 3.28) состоит из 20 секций с общей площадью фильтрации 2300 м², в каждой секции находится 42 рукава диаметром 220 и длиной 4020 мм. Аппарат оборудован устройствами пневматического встряхивания рукавов и пневматического управления клапанами. Программа продувки и встряхивания задается командоаппаратом, управляющим периодическим встряхиванием, обратной продувкой атмосферным воздухом, засасываемым вследствие разрежения в бункере секции. Изготовители фильтров: Киевский машиностроительный завод им. Калнина, Шебекин-

ТАБЛИЦА 3.14
ФИЛЬТРЫ С МЕХАНИЧЕСКИМ ВСТРЯХИВАНИЕМ В СОЧЕТАНИИ С ОБРАТНОЙ ПРОДУВКОЙ

Наименование	ФРУ	Г4-1БФМ	Г4-2БФМ	ФРВ-20	ФРН-30	ФР-250	РФГ	УРФМ-ПМ, УРФМ-111
Площадь фильтрующей поверхности, м ²	2,5—50	30; 45; 60; 90	60; 90	20	30	281	112; 168; 224; 280	2300; 1610
Число секций, шт.	1—4	2; 3; 4; 6	4; 6	2	2	4	4; 6; 8; 10	20; 14
Число рукавов, шт.	14; 28; 42; 56	36; 54; 72; 108	72; 108	32	48	288	56; 84; 112; 140	840; 588
Диаметр рукава, мм	125	135	135	130	130	135	220	220
Высота рукава, мм	900; 1000; 1500; 2000; 2500	2090	2090	1630	1630	2300	3100	4063

Примечание. Заводы-изготовители: Кемеровский завод химического машиностроения — фильтры типа ФРУ, ФРВ, ФРН, ФРГ; Шебекинский машиностроительный завод и Киевский завод цементного машиностроения — фильтры типа Г4; Куйбышевский завод «Строммашина» и Алма-Атинский завод тяжелого машиностроения — фильтры типа РФ, УРФМ.

ский машиностроительный завод, литейно-механический завод «Выдвигенец».

Фильтры типа ФР и ФРДО с обратной посекционной продувкой просты по устройству, поскольку в них отсутствует механизм встряхивания. Фильтры различаются между собой в основном длиной рукавов, устройством газовых клапанов и системой управления.

Фильтры типа ФР (табл. 3.15) характеризуются подводом газов в открытые снизу рукава и наличием дроссельных клапанов на коллек-

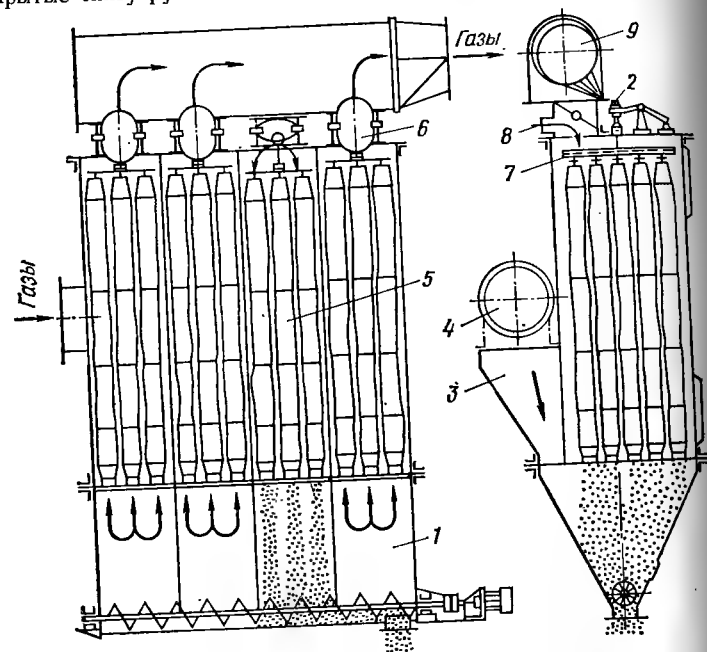


Рис. 3.27. Рукавные фильтры типа Г4-БФМ [44]:

1 — бункер; 2 — механизм встряхивания; 3 — коллектор; 4 — газоход запылен-
ных газов; 5 — секция фильтра, находящаяся на регенерации; 6 — клапан
газов; 7 — рама подвеса рукавов; 8 — продувочный клапан; 9 — выходной кол-
лектор

торах очищаемого и продувочного газов, система переключения кото-
рых приспособлена под пневмоавтоматику, так как применяются стекло-
каневые фильтры для технологической очистки взрывоопасной саже-
газовой смеси при температуре 240 °С под давлением. Удаление
уловленной сажи с рукавов осуществляется обратной продувкой очи-
щенного газом с помощью вентилятора. Выгрузка сажи из бункеров
выполняется шлюзовыми затворами (рис. 3.29).

Конструктивно фильтр ФР представляет стальной корпус, разде-
ленный соответственно на шесть или восемь секций, устанавливаемых на
опорный каркас. Каждая секция представляет собой стальную прямо-
угольную камеру, нижняя часть которой выполнена в виде бункера для
сбора уловленной пыли и распределения запыленного газового потока
по рукавам.

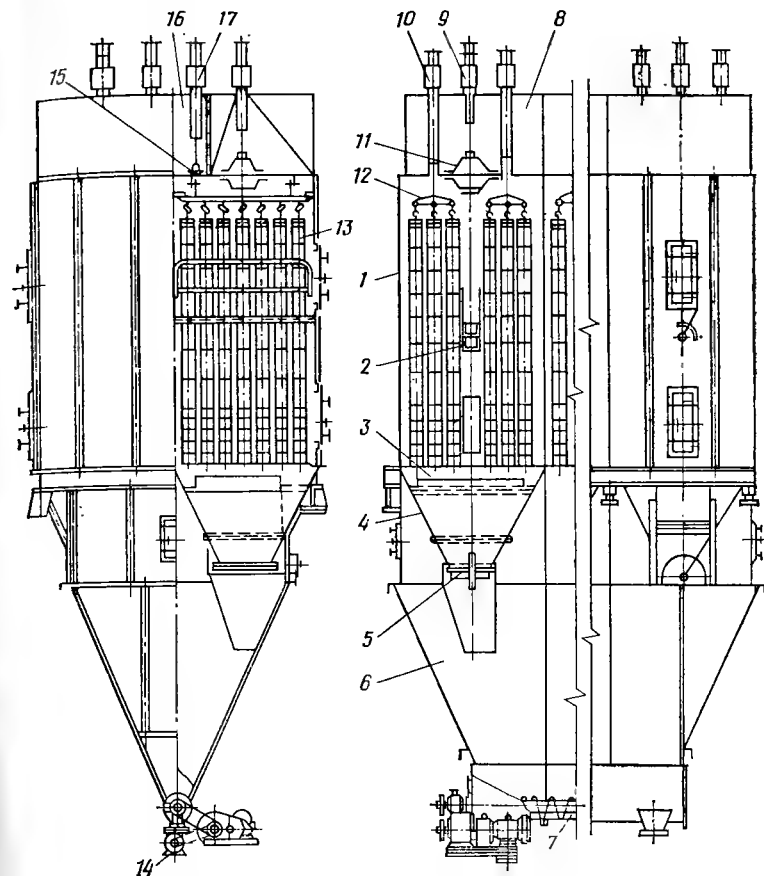


Рис. 3.28. Общий вид укрупненного рукавного фильтра типа УРФМ:

1 — корпус; 2 — площадка обслуживания; 3 — газораспределительная решет-
ка; 4 — бункер; 5 — шлюзовый затвор; 6 — общий бункер; 7 — шнек; 8 — кол-
лектор чистого газа; 9 — пневмоцилиндр для управления клапаном 11; 10 —
шток пневмоцилиндра встряхивания; 11 — клапан; 12 — рама подвеса рукавов;
13 — рукав; 14 — шлюзовой затвор; 15 — клапан продувочного воздуха; 16 —
коллектор продувочного воздуха; 17 — пневмоцилиндр для управления проду-
вочным клапаном

Коллектор запыленного газа присоединяется к бункерным частям
секций, коллекторы очищенных продувочных газов соединяются с верх-
ними частями каждой секции фильтра. На каждом ответвлении от этих
коллекторов к секции фильтра установлены дроссельные клапаны с
пневматическими приводами, которые управляются автоматически.
Нижние открытые концы фильтрующих рукавов крепятся к чугунной
решетке. Верхние глухие концы рукавов закреплены в металлических
тарелках, которые с помощью крючков подвешены к рамам подвеса ме-
ханизма встряхивания рукавов. Наружная поверхность корпуса филь-

ТАБЛИЦА 3.16

ТЕХНИЧЕСКАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА ФИЛЬТРОВ ТИПА ФР

Наименование	ФР-518	ФР-5000	ФРДО-6500
Площадь фильтрующей поверхности, м ²	518	5000	6500
Количество секций, шт.	8	8	10
Число рукавов в фильтре, шт.	432	4032	2120
Диаметр рукавов, мм	127	127	130
Высота рукавов, мм	3000	3090	7850
Габаритные размеры, м	14,4×3, 68×9,55	29×7, 36×15	22,3×7, 58×15,9
Масса, т	25,88	124,3	129

ра покрывается теплоизоляцией. Для удобства обслуживания фильтра предусмотрены площадки, переходы, лестницы. В каждой секции размещаются две группы рукавов по 192 в каждой.

Запыленный газовый поток поступает на очистку через коллектор в бункерные части секций. Под действием инерционных сил некоторое количество пыли, содержащейся в газах, оседает в бункерах, а остальная пыль вместе с газами через отверстия в чугунной решетке, в которых закреплены нижние части рукавов, поступает внутрь фильтру-

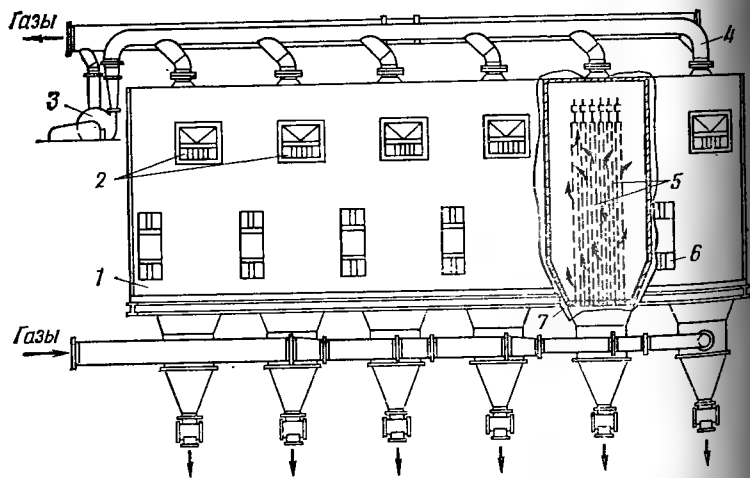


Рис. 3.29. Рукавный фильтр ФР с рукавами из стеклянной ткани:
1 — корпус; 2 — взрывные клапаны; 3 — продувочный вентилятор; 4 — коллектор; 5 — рукава; 6 — люк; 7 — чугунная решетка

щих элементов. Пыль задерживается на их внутренней поверхности, а очищенные газы проходят через ткань в пространство между рукавами (камеру чистых газов), откуда через коллектор очищенных газов удаляются из фильтра.

Регенерация рукавов производится механическим встряхиванием и обратной продувкой. Продувочный вентилятор забирает часть газов из коллектора очищенных газов и нагнетает их через коллектор продувочных газов в секцию фильтра, которая в это время находится на регенерации. Поскольку давление, создаваемое вентилятором обратной продувки, значительно выше рабочего давления очищаемых газов, в регенерируемой секции меняется направление. Продувочные газы, поступающие из коллектора продувочных газов в пространство между рукавами, проходят через ткань рукавов внутрь, сминают рукава; при этом разрушается и сдувается слой пыли, образовавшийся на внутренней поверхности рукавов. Разрушению и удалению пыли с поверхности рукавов способствует также работающий механизм встряхивания.

Пыль с поверхности рукавов оседает в бункерные секции, откуда через шиловый затвор удаляется в систему пылеудаления, а продувочные газы поступают в коллектор неочищенных газов и распределяются по рабочим секциям. На время регенерации секции закрывается дроссельный клапан на участке газопровода, соединяющем данную секцию с коллектором очищенных газов, и открывается дроссельный клапан на участке газохода, соединяющем ее с коллектором продувочных газов. Переключение дроссельных клапанов и включение механизма встряхивания осуществляются автоматически по заданной программе. Фильтры устанавливаются в здании. Аппарат типа ФР-5000 можно установить на открытом воздухе, но при этом крышку фильтра закрывают утепленным шатром, а бункера располагают в утепленном помещении.

Фильтры с регенерацией механическим встряхиванием типа ФР-6П, ФТ-2М, ФТНС-М, ЦА-3804 применяются для очистки аспирационного воздуха от сухой волокнистой пыли на льно- и пенькозаводах, текстильных фабриках и в других производствах. Рукава регенерируются с помощью ручного или электромеханического встряхивающего устройства, так как пыль легко удаляется при деформации тканей. Фильтр ФР-6П устанавливается над бункером или камерой, в которые подводится пылегазовый поток. Фильтр открытого типа, работает под давлением. Периодическое встряхивание осуществляется механизмом с пневмоприводом в течение 2 мин; давление сжатого воздуха 0,1 МПа, расход 0,015 м³/мин; производительность аппарата 3500—4000 м³/ч при сопротивлении 0,5—1,0 кПа. Целевое назначение фильтра ФР-6П — улавливание пуха.

Фильтр ФТ-2М (двухступенчатый модернизированный) в качестве первой ступени очистки газов имеет вращающийся сетчатый барабан, регенерируемый сбивным валиком; в качестве второй ступени установлено 12 тканевых рукавов, расположенных открыто и регенерируемых встряхиванием от отдельного электродвигателя. Производительность фильтра — до 10000 м³/ч при сопротивлении 0,5—0,6 кПа.

3.4. МЕТОДЫ РАСЧЕТА И ПОДБОРА ТКАНЕВЫХ ФИЛЬТРОВ

При расчете и выборе типа тканевого фильтра учитываются следующие основные факторы.

Характеристика очищаемых газов на входе в фильтр: объемный расход очищаемых газов в рабочих и нормальных условиях, состав га-

зов и их взрывоопасность, температура и давление, допустимость подсоса, содержание влаги, температура точки росы с указанием предельных колебаний перечисленных величин.

Свойства пыли: тип пыли (по механизму образования), распределение частиц по размерам, весовая концентрация, содержание токсичных веществ, химический состав пыли, гигроскопичность и растворимость в воде, склонность к слипанию, взрываемость и горючесть, плотность и насыпная плотность, электрические свойства, абразивность, предельно допустимые концентрации.

Характеристика источника выделения пыли: технологические сведения о процессе и применяемом оборудовании, периодичность или непрерывность процесса, места отсоса запыленных газов.

Характеристика и требования к уловленной пыли: ее ценность, возможность регенерации и возвращения ее в производство, возможность использования в других отраслях промышленности, способ выгрузки, транспортировки и упаковки.

Основные требования к фильтру: допускаемое сопротивление фильтра; задаваемая величина выходной концентрации; размер установки; требуемая площадь; место расположения; необходимое вспомогательное оборудование для кондиционирования очищаемых газов перед фильтрами; место установки вентилятора и требования к нему; климатические условия, в которых происходит эксплуатация фильтра; потребность в воде, паре и сжатом воздухе и их параметры; наличие контрольно-измерительных приборов, средств автоматизации и сигнализации; выполнение санитарных норм при обслуживании установки, ее ремонте и демонтаже; состояние площадки для обслуживания; возможность проведения технологического процесса при аварийной остановке фильтра; меры по технике безопасности; капитальные и эксплуатационные затраты.

Для проведения приближенного расчета необходимо принять допустимое газодинамическое сопротивление фильтра, которое выбирается в пределах 0,75—1,5 кПа, только в особых случаях величина его может достигать 2—2,5 кПа. При более высоком значении газодинамического сопротивления резко увеличивается проскок пыли и возможенрыв рукавов или их разрушение по шву в результате аэродинамических ударов при переклоении секций на регенерацию.

Эффективность очистки газов в тканевых фильтрах достаточно высока, но величина эта часто зависит от многих факторов и может снижаться при браке ткани, плохом прижиге рукавов на патрубках или в гнездах, негерметичности трубных решеток, срыве, износе или вытяжке рукавов. С учетом того, что величина выходной концентрации в значительной мере обуславливается проскоком пыли в периоды, следующие сразу же за регенерацией, и уносом частиц из ткани в результате локальных изменений скоростей газов и чрезмерной деформации ткани, при расчетах газовую нагрузку не следует завышать.

Таким образом, основным фактором, определяющим площадь фильтровальной ткани в установке, является перепад давления на ткани, а не величина эффективности очистки газа, и только в отдельных случаях допустимая газовая нагрузка на ткань может определяться величиной выходной концентрации пыли.

Для приближенного расчета площади фильтрации тканевого фильтра необходимо определить общий расход запыленных газов, поступающих на ткань (с учетом подсосов на пути от источника пылевыведения до фильтровальной ткани), и расход продувочных газов или воздуха, поступающих из регенерируемой секции. Кроме того, надо знать нагрузку по газу (скорость фильтрации), которую принимают на основании опыта эксплуатации в зависимости от применяемой ткани.

Общая площадь фильтрации установки S , m^2 , составит

$$S = S_p + S_c = \frac{V_1 + V_2}{v_{\phi}} + S_c,$$

где S_p — площадь фильтрации в одновременно работающих секциях, m^2 ; S_c — площадь ткани в регенерируемой секции, m^2 ; V_1 — расход запыленных газов с учетом подсоса (в газоходе и бункере), $m^3/мин$; V_2 — расход продувочных газов или воздуха, $m^3/мин$; v_{ϕ} — скорость фильтрации (газовая нагрузка на ткань), $m^3/(m^2 \cdot мин)$.

Для ориентировочных расчетов скорости фильтрации тканевых фильтров можно пользоваться данными табл. 3.16, где деление пыли на пять классов является условным.

При пользовании табл. 3.16 необходимо учитывать, что приведенные значения относятся к средним величинам входных концентраций пыли, которые, кроме этого, характеризуются размерами и формой частиц и другими свойствами, специфичными для улавливаемого материала и технологического процесса. Скорости фильтрации, как правило, будут меньше при повышенных концентрациях и температурах и при меньших размерах частиц, чем это обычно встречается.

Для легкоудаляемых пылей и малых концентраций пыли (менее 1 г/м^3) газовая нагрузка при использовании шерстяных тканей может быть увеличена до $3,0 \text{ м}^3/(m^2 \cdot мин)$. При использовании синтетических тканей нагрузку принимают на 10—15 % ниже, чем для шерстяных, учитывая их меньшую удерживающую способность. По данным промышленных испытаний, выходная концентрация пыли в этих условиях составляет 20—50 мг/м^3 при начальной концентрации пыли 5—50 г/м^3 ; при низкой начальной концентрации конечная концентрация также ниже [51, 58].

Практически установлено, что в большинстве случаев величина газовой нагрузки и износ рукавов в первую очередь зависят от величины входной концентрации и дисперсности пыли, и обычно большая запыленность и высокая дисперсность вызывают необходимость увеличения размеров фильтра, если расчетное значение сопротивления фильтра должно оставаться в пределах 1,0—1,5 кПа. Поэтому при расчете требуемой поверхности ткани иногда исходят не из принимаемой газовой нагрузки, а из количества пыли, поступающей на единицу поверхности ткани в единицу времени. Полагают, что для нормальной эксплуатации фильтров, например, в цементной промышленности это количество пыли на 1 м^2 ткани не должно превышать $1,2—1,8 \text{ г/(м}^2 \cdot мин)$.

Исходя из этого, расчетная газовая нагрузка определяется из уравнения: $V = 18/Z_1$, где Z_1 — входная концентрация пыли, г/м^3 . Например, при $Z_1 = 20 \text{ г/м}^3$ нагрузка по газу составит $\frac{18}{20} = 0,9 \text{ м}^3/(m^2 \cdot мин)$.

Определив общую площадь ткани, находят требуемое число фильтров или секций n в многосекционной установке: $n = S/S_1$, где S_1 — площадь фильтровальных рукавов в одном фильтре (в одной секции), m^2 . Так как n должно быть целым числом, полученное значение округляют в сторону увеличения числа фильтров или секций. Общее сопротивление установки с рукавными фильтрами представляет собой сумму допустимого сопротивления ткани, расчетных сопротивлений газоходов и корпуса фильтра (на входе и выходе газов).

Расход продувочного воздуха на регенерацию обратной продувкой составляет $1,5—1,8 \text{ м}^3/(m^2 \cdot мин)$, а отношение расхода продувочного воздуха к расходу воздуха при фильтрации 1,5—2. Чтобы избежать интенсивной очистки, для синтетических и стеклянных тканей это отноше-

Класс пыли	Вид пыли	Фильтр		
		со встряхиванием и продувкой	с импульсной продувкой	с обратной продувкой
1	Сажа ¹ ; кремнезем (белая сажа); возгоны свинца ¹ , цинка ¹ и другие аналогичные аэрозоли, образующиеся в газовой фазе за счет конденсации и химических реакций; красители; косметические порошки; моющие средства; молочный порошок; активированный уголь; цемент от печей ¹	0,45—0,6	0,8—1,2	0,33—0,45
2	Возгоны железа ¹ и ферросплавов ¹ ; литейные пыли; глинозем ¹ ; цемент от мельниц ¹ ; возгоны карбидных печей ¹ ; известь ¹ ; корунд; аммофос и другие удобрения; пластмассы; крахмал	0,6—0,75	1,5—1,2	0,45—0,55
3	Тальк; каменный уголь; пыль от песко- и дробеструйной очистки; летучая зола ¹ ; пыль керамических производств; сажа (вторичная переработка); пигменты, каолин; известняк ¹ ; рудные пыли; боксит; цемент ¹ (от колосниковых холодильников)	0,7—0,8	1,5—2,0	0,6—0,9
4	Асбест; волокнистые материалы; гипс; перлит; пыли в производстве резины; соли; мука; пыли шлифовальных процессов	0,8—1,55	1,5—2,0	—
5	Табак; кожаная пыль; комбикорма; пыль в процессах деревообработки; грубые растительные волокна (пенька, джут и др.)	0,9—2,0	1,5—2,0	—

¹ Пыли, для улавливания которых применяются фильтры с обратной продувкой, в основном имеют неперистую структуру.

ние принимается меньшим. Вентилятор выбирают по количеству газов после фильтров; к объему фильтруемых газов добавляют объем воздуха или газов обратной продувки, а также объем подсосываемого воздуха (например, для фильтров типа РФГ этот объем составляет в среднем 27 % от начального объема при нормальных условиях). Зная общий объем газов и суммарное сопротивление установки, выбирают вентиляторы с требуемыми характеристиками.

При выборе ткани для определенных условий работы учитываются конструкция фильтра и способ регенерации, запыленность газов, свойства осаждаемой пыли, состав и температура газов, особенности технологического процесса. На основе этих данных выбираются тип волокна или пряжи, переплетение ткани и способ ее отделки (см. рис. 3.9).

Выше указывалось, что величина перепада давления на фильтре в значительной мере определяется способом регенерации ткани. Если принятый способ регенерации малоэффективен, то для успешного удаления пыли с ткани необходимо либо накапливать толстые слои пыли при соответствующем снижении скорости фильтрации, что ведет к увеличению габаритов фильтра, либо интенсифицировать способ регенерации, но при этом сокращается срок службы тканей, так как они подвергаются сильным механическим воздействиям, что сокращает межремонтный пробег и увеличивает эксплуатационные расходы. Поэтому для обеспечения непрерывной работы таких установок предусматриваются дополнительные секции, при наличии которых текущий ремонт может проводиться без остановки всего агрегата.

При использовании фильтров, в которых регенерация не вызывает сильного износа ткани, но связана со значительным увеличением площади фильтрации, капитальные затраты увеличиваются, но продолжительность работы аппарата без дорогостоящих остановок на текущий ремонт значительно возрастает. Большие капитальные затраты в этом случае компенсируются за счет более длительной работы аппарата и снижения эксплуатационных расходов. Ткани в таких установках выдерживают до 1 млн. циклов, что очень редко можно достичь в фильтрах с обратной продувкой с одновременным вертикальным встряхиванием рукавов. Следует отметить, что расходы на замену одного комплекта рукавов составляют 10—20 % общих эксплуатационных расходов.

Для всех типов фильтров верхний предел входной запыленности лимитируется необходимостью резкого снижения скоростей фильтрации, нижний — падением эффективности улавливания, что в меньшей степени благодаря особенностям структуры применяемой ткани влияет на фильтры с поэлементной струйной продувкой. По этой же причине в фильтрах с поэлементной струйной продувкой можно добиться более высокой степени очистки.

Максимальные скорости фильтрации для различных типов фильтров в основном определяются свойствами используемой ткани. Так, исходя из прочностных и структурных характеристик, стеклоткани допускают скорости практически не выше 0,5, а синтетические 1,5 м/мин (в рукавах в каркасном исполнении до 2,5 м/мин).

При более высоких скоростях возрастает перепад давлений и возникают динамические пробои некапливающих пылевых слоев, в результате чего происходит проскок пыли на сторону чистого газа. Кроме того, при эксплуатации при повышенных скоростях фильтрации наблюдается снижение срока службы рукавов вследствие деформации тканевой перегородки.

В аппаратах с поэлементной струйной продувкой применяющиеся войлоки и многослойные синтетические ткани позволяют работать со скоростями до 10 м/мин благодаря тому, что процесс улавливания осу-

ществляется не только на наружной стороне, но и в значительной мере внутри объема фильтровального материала. На практике скорости фильтрации выбирают на основе имеющегося опыта эксплуатации (см. табл. 3.16). Предельное гидравлическое сопротивление зависит от свойств пыли и фильтровальной ткани, параметров регенерации и задается обычно не выше $2,5 \text{ Н/м}^2$. Дальнейшее его увеличение приводит к снижению степени очистки. Продолжительность и периодичность процесса регенерации определяются на базе опыта эксплуатации в аналогичных условиях с последующей корректировкой.

Одним из главных условий нормальной работы тканевых фильтров является поддержание необходимой температуры очищаемых газов на входе в фильтр и внутри него. При температурах более высоких, чем указано в табл. 3.8, резко сокращается срок службы тканей, а при температурах ниже точки росы возможна конденсация водяных паров, сопровождаемая образованием неудаляемых наростов или почти полной потерей газопроницаемости ткани и усилением коррозии металлических деталей. Температура газов на выходе из фильтра должна быть на $15\text{--}30^\circ\text{C}$ выше температуры точки росы. При работе фильтра под разрежением принимают меры для максимального снижения подсосов атмосферного воздуха.

В ряде случаев на выбор типа фильтра технологические и местные условия сразу накладывают известные ограничения. В частности, если газ взрывоопасен, обратная продувка фильтрующих элементов допускается лишь инертным или очищенным газом; в последнем случае фильтры с импульсной продувкой не могут быть применены. Например, при ограниченных размерах производственных площадей выбор может быть остановлен прежде всего на аппаратах с поэлементной струйной продувкой или с длинномерными фильтрующими элементами, регенерируемыми методом механического встряхивания и обратной посекционной продувки.

При очистке взрывоопасных газов с высоким верхним пределом взрываемости предпочтение отдается аппаратам, работающим под давлением; для газов с низким нижним пределом взрываемости — фильтрам, работающим под разрежением. Также под разрежением устанавливаются аппараты при фильтрации токсичных газов и пылей.

Взрывобезопасное исполнение аппарата — требование для фильтрации огне- и взрывоопасных газов и пылей — должно быть выполнено в отношении электродвигателей и других токоприемников фильтра, а также системы КИП и автоматики, которая в таких условиях выполняется с пневматическим или гидравлическим управлением.

Важным условием при фильтрации взрывоопасных газов и пылей является эксплуатация при температурах ниже предельно допускаемых для инициирования соответствующего импульса. Это условие относится прежде всего к пылям с температурой воспламенения ниже 250°C (табачная, цинковая, угольная пыли), накапливающимися в бункерной части или локально в других узлах аппарата. Фильтры с хлопчатобумажными тканями не рекомендуются использовать для улавливания абразивных пылей.

Вопросы оснащения фильтров тканями необходимо рассматривать также с точки зрения соотношения электростатических свойств улавливаемой пыли и ткани. Сильное электрическое притяжение пылевого слоя к тканям затрудняет сбрасывание накопленного осадка, вызывает необходимость проведения интенсивной регенерации. Наряду с этим частицы с хорошей электропроводностью плохо задерживаются тканями, несмотря на значительные размеры. Следует иметь в виду, что относительно грубодисперсные, легко заряжающиеся и не агрегирующие пыли (цементная пыль, каолин) хорошо улавливаются нитроном; пыли

тонкодисперсные, легко заряжающиеся и агрегирующие (возгоны окиси цинка, шлаки никеля, сырьевая цементная пыль, хромовая, пыль окиси молибдена) — лавсаном и шерстью. Электрически неактивные пыли (от прокалики каолиновой глины) фильтруются трудно.

Для подавления вредного влияния электрической зарядки частиц принимают меры для обеспечения их быстрой разрядки: используют электропроводящие ткани, повышают относительную влажность газов до $60\text{--}70\%$. Однако следует иметь в виду, что при повышенной относительной влажности газов (выше 70%) у ряда синтетических тканей (лавсан) резко снижается срок службы.

После определения значений основных параметров различных типов аппаратов проводится подбор конкретных фильтров и дополнительного оборудования: тягового дымососа, продувочного вентилятора, устройств выгрузки и транспорта пыли. Подбор односекционного аппарата сводится к определению потребной фильтровальной поверхности, м^2 : $S = V/v_f$, где V — расход фильтруемого газа с учетом подсоса, $\text{м}^3/\text{мин}$; v_f — скорость фильтрации, $\text{м}/\text{мин}$.

Для многосекционного аппарата с отключением секций на регенерацию необходимая поверхность фильтрации определяется по формуле

$$S = \frac{V + S_c(q + v_f)}{v_f} \text{ м}^2,$$

где q — удельная газовая нагрузка при регенерации, $\text{м}^3/(\text{м} \cdot \text{мин})$, обычно принимается по отношению к удельному расходу газа при фильтрации от 1 до 2; S_c — поверхность фильтрации одной секции, м^2 . Различные характеристики имеют продувочные вентиляторы при работе аппаратов под давлением и разрежением. В первом случае вентилятору приходится преодолевать двойное сопротивление: накапливающегося слоя пыли и напора фильтруемого газа. В этом случае выгодна работа аппарата под разрежением, расход электроэнергии на регенерацию при прочих равных условиях в 2—3 раза меньше. При расчете требуемой поверхности ткани иногда исходят не из принимаемой газовой нагрузки, а из количества пыли, поступающей на единицу поверхности ткани [51]. Общее сопротивление установки с рукавными фильтрами представляет сумму допускаемого сопротивления ткани, расчетных сопротивлений газопроводов и корпуса фильтра.

Разработаны графические методы для расчета и выбора фильтров. Например, для выбора нагрузки по газу (скорости фильтрации) можно воспользоваться номограммой, приведенной на рис. 3.30 [50]. Для этого необходимо иметь следующие сведения о пыли: примерное весовое содержание частиц размером менее 10 мкм ; содержание пыли в газе, поступа-

$\xi (<10 \text{ мкм}), \%$

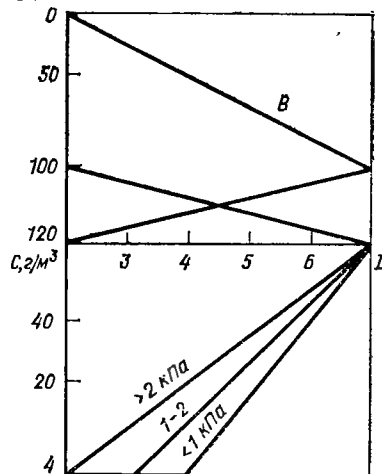


Рис. 3.30. Номограмма для определения скорости фильтрации D , $\text{м}/\text{мин}$, с учетом давления в аппарате и запыленности газов C , $\text{г}/\text{м}^3$, с содержанием ξ ($\%$, по массе) частиц размером менее 10 мкм

ющем в фильтр, г/м³; плотность улавливаемой пыли. Ниже приведен порядок пользования номограммой (см. рис. 3.30).

1. Из соответствующей точки на вертикальной шкале ξ проводят горизонтальную прямую, пересекающую наклонную линию В.
2. Из соответствующей точки на вертикальной шкале С проводят горизонтальную прямую, пересекающую наклонную линию, которая представляет соответствующий диапазон плотностей улавливаемого материала.

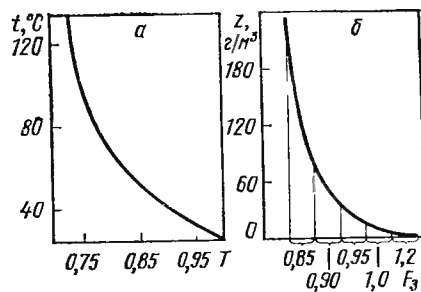


Рис. 3.31. Поправочные множители:

а — T , учитывающий температуру; б — F_z , учитывающий запыленность газов

3. Затем проводят прямую линию между точками, найденными в п. 1 и 2. Пересечение этой линии с горизонтальной шкалой дает скорость фильтрации (м/мин).

Для выбора скорости фильтрации аппаратов со струйной продувкой необходимо учитывать свойства пылегазового потока и фильтроваль-

ТАБЛИЦА 3.17

ЗНАЧЕНИЯ ПОПРАВКИ, УЧИТЫВАЮЩЕЙ СВОЙСТВА МАТЕРИАЛА УЛАВЛИВАЕМОЙ ПЫЛИ

Материалы пыли	Величина поправки
Спеченные продукты обжига, картон, какао, пищевые продукты, порошки, зерно, кожа, опилки, табак	4,5
Асбест, пыль полировки, волокнистые и целлюлозные материалы, гипс, гидратированная известь, перлит, соль, песок, пыль пескоструйной обработки, кальцинированная сода, тальк	3,5
Глинозем, высокодисперсная сажа, цемент, керамические пигменты, глина и измельченный кирпич, уголь, фтористый полевой шпат, каолин, известняк, пыли пустой породы, руд и минералов, кремнезем, сахар	3,0
Фосфат аммония, аммонийные удобрения, кокс, кизельгур, красители, летучая зола, металлические порошки, оксиды металлов, пигменты, пластические материалы, смолы, силикаты, крахмал, стеараты	2,7
Активный уголь, сажа (молекулярная), детергенты, дымы и другие высокодиспергированные продукты реакций, порошковое молоко, мыла	1,8

ЗНАЧЕНИЯ ПОПРАВКИ, УЧИТЫВАЮЩЕЙ ОБЛАСТЬ ПРИМЕНЕНИЯ

Процесс	Величина поправки
Очистка вентиляционных газов: места перегрузки пылящих материалов, транспортеры, участки затаривания и т. п.	1,0
Улавливание полезного продукта: струйные мельницы, испарительные сушилки, классификаторы и т. п.	0,9
Фильтрация технологических газов: распылительные сушилки, печи обжига, реакторы и т. п.	0,8

ного материала. Для упрощения расчетов разработаны поправочные коэффициенты:

поправка на материал F_m (табл. 3.17) учитывает свойства и характеристики улавливаемой пыли, которые влияют на способность фильтровального материала формировать слой в ходе процесса фильтрации и сбрасывать этот слой во время цикла регенерации;

поправка на область применения F_n (табл. 3.18) учитывает тип технологического процесса, в ходе которого образуется пыль, и его цикличность, обуславливающую изменения запыленности во времени; температурная поправка T (рис. 3.31, а) компенсирует увеличение вязкости воздуха при высоких температурах;

поправка на размеры частиц F_4 (табл. 3.19) учитывает тот факт, что мелкие частицы имеют тенденцию забивать поры ткани быстрее, чем грубые частицы;

поправка на запыленность F_z (рис. 3.31, б) вводится в том случае, если фильтр работает при постоянном перепаде давления.

Найденное в результате расчета значение скорости фильтрации будет соответствовать перепаду давления, равному 1000 Па. Оно может быть использовано для приближенного выбора размеров фильтра при оценке его стоимости.

Капитальные затраты на фильтрацию газов зависят от стоимости ткани, удельной газовой нагрузки на ткань, которая может меняться в пределах 0,75—1,5 м/мин, а также материалов, применяемых для изготовления корпуса аппарата. К ряду капитальных затрат относятся газоходы, вентиляторы, системы пыле-транспорта, строительные конструкции и другие дополнительные механизмы и сооружения. Ориентировочные данные по распределению общих годовых расходов приведены ниже, %:

Капитальные затраты	11
Общие расходы	24

ТАБЛИЦА 3.19

ЗНАЧЕНИЯ ПОПРАВКИ, УЧИТЫВАЮЩЕЙ РАЗМЕРЫ ЧАСТИЦ ПЫЛИ

Интервал размеров, мкм	Величина поправки
>100 мкм	1,2
50—100	1,1
10—50	1,0
3—10	0,9
<3	0,8

В том числе:

площадь размещения	5
обогрев аппарата	15
меры безопасности	4
новые рукава	10

Эксплуатационные затраты 29

В том числе:

смена рукавов	11
обслуживание	11
транспорт уловленной пыли	7
электроэнергия	11
амортизация	15

ЭФФЕКТИВНОСТЬ РАБОТЫ ФИЛЬТРОВ

Марка аппарата	Число установленных аппаратов	Источник пылевыведения	Объем очищаемых газов, м³/ч
ФРКН-90	20	Сушилка	108 000
ФРКН-220	2	Цементная мельница	28 000
ФРКН-90	60	Сушилка	400 000
ФРКН-60В	1	Аспирация загрузки продукта	4300
ФРКН-60	2	То же	7000
ФРКН-60	1	»	2200
ФРКН-30	2	»	5500
ФРКН-60	2	Аспирация перегрузки продукта	11 000
ФРКИ-180	1	Аспирация загрузки бункера сырьевой муки	10 800
ФРКИ-360	2	То же	40 000
ФРКН-30	1	Аспирация загрузки цементного силоса	1800
ФРКН-60	1	То же	3600
ФРКН-60В	3	Аспирация загрузки продукта	11 000—14 000
ФРКИ-90	1	Аспирация галтовочных барабанов	9220
ФРКИ-360	2	Эрлифт готового продукта	38 000
ФРКИ-60	2	Смесь газов сушилки и аспирационного воздуха	8200
ФРКДН-130	2	Шахтная мельница	23 000
ФРКДИ-1100	1	Электросталеплавильная печь	50 000
ФРКДИ-1100	2	Электродуговая печь выплавки карбида кальция	110 000
ФРКДН-1100	2	Аспирационный воздух чугулитейного цеха	80 000

Потребление энергии тканевыми фильтрами составляет 0,6—1,2 кВт·ч/1000 м³. При наиболее распространенных перепадах давления от 1,2 до 2,0 кПа около 75 % энергии приходится на преодоление гидравлического сопротивления системы и около 25 % на регенерацию ткани от пыли.

Потребность в площади для установки фильтра определяется удельной газовой нагрузкой и длиной рукавов. При удельной газовой нагрузке около 0,7 м³/(м²·мин) для фильтров с обратной продувкой и около 1,5 м³/(м²·мин) для аппаратов с регенерацией сжатым воздухом и при длине рукавов от 2,5 до 5 м удельная потребность в площади для крупных фильтров составляет 0,5—0,8 м² на 1000 м³/ч.

Например, по ориентировочным расчетам, удельные затраты при применении фильтров типа ФРКИ составляют 0,47 руб. на 1000 м³ обеспыливаемого газа. В табл. 3.20 приведены данные об эффективности работы рукавных фильтров в различных отраслях промышленности.

ТАБЛИЦА 3.20

ТИПА ФРКН, ФРКИ, ФРДН И ФРКДИ [58]

Вид пыли	Медиа-ный диаметр частиц, мкм	Входная концентрация, г/м³	Остаточная концентрация, мг/м³	Скорость фильтрования, м/мин
Оксид цинка	3—4	20	24	1,2
Цемент	11	18	50—75	0,8—1,2
Цинк	5,5	1,1	25	1,2
Пестициды, ТМТД	—	19	1	1,2
Известь	10—12	3	3	1,0
Минеральная пыль	—	10	10	0,6
Цемент	10—12	5,0	5	2,0
Молибдатный крон	—	5,0—8,0	5—8	1,5
Сырьевая мука	9	39—40	10—18	1,0
Цемент	10—12	24—30	10—12	0,88—0,93
»	—	—	16	0,82—1,0
Хлорофос	15	8,7—38	3—11	1,0—1,3
Окалина	5—7	0,38—2,0	20	1,67
Стиральный порошок	10	5—7	20—30	0,9
Олово и т. п.	2,16	2,7—5,1	0,7—29	1,1
Гипс	10	8,0	8,0	1,5
Оксиды металлов и кремния	4	0,5—1,3	1,0	0,8
Негашеная известь, мел, кокс	1,2	1,3—1,4	6—40	0,72
Песок, шлак, глина	10—20	0,5—0,8	—	1,24

3.5. ЗЕРНИСТЫЕ ФИЛЬТРЫ

Применение зернистых фильтров оказывается целесообразным для очистки газов при температурах, чрезмерно высоких для рукавных фильтров. Кроме того, экономически выгодной является сухая комплексная очистка газов от пыли и газообразных вредных веществ, особенно при условии применения шихтовых материалов в качестве сорбента или катализатора. В ряде случаев зернистые фильтры могут быть с успехом применены для улавливания слипающихся, высокоомных, абразивных пылей или для очистки влажных газов, т. е. в тех случаях, когда применение сухих электрофильтров и рукавных фильтров нецелесообразно. Ниже приведены основные области применения зернистых фильтров.

Высокотемпературная очистка газов. Целесообразность применения зернистых фильтров в этом случае обусловлена возможностью очистки уменьшенных объемов газа без их предварительного охлаждения (в том числе разбавлением воздухом). Кроме того, высокотемпературная очистка газов значительно облегчает утилизацию их тепла.

Сухая комплексная очистка газов от пыли и газообразных вредных веществ с использованием в качестве насыпного слоя соответствующего адсорбента или катализатора. Этот метод позволяет отказаться от дополнительной гидрохимической схемы нейтрализации уловленных продуктов, необходимой при применении абсорбционной схемы улавливания. Этот метод легко осуществляется, когда в качестве адсорбента, катализатора или фильтрующего материала может быть использован материал основного технологического процесса, например шихтовый материал. Поэтому в качестве насадок используют песок, гальку, шлак, дробленые горные породы, древесные опилки, кокс, крошку резины, пластмасс, графита и другие материалы.

Конструкция аппарата зернистого фильтра, предназначенного для очистки газов от мелкодисперсной пыли при высоких температурах, должна обеспечивать:

- высокую надежность при непрерывной многолетней работе в условиях как обычных, так и агрессивных газовых сред;
- эффективное улавливание мелкодисперсной пыли;
- сохранение высокой эффективности улавливания в течение всего периода работы;
- работу при высоких температурах (400°C и более);
- заданную эффективность при резком увеличении запыленности, скорости и давления на входе в случае нарушения технологических параметров установки.

Зернистые фильтры нашли широкое применение при обеспыливании горячих газов в цементной промышленности, при получении редких и драгоценных металлов и др. Кроме фильтрования, гранулы могут выполнять функции теплоносителя и сорбента или катализатора при сочетании процесса фильтрования с адсорбционным или каталитическим процессом.

Благодаря непрерывному совершенствованию способов регенерации зернистые фильтры находят все более широкое применение в развитых капиталистических странах (США, Франции, ФРГ, Англии и других) на цементных, известковых, гипсовых заводах, на предприятиях химической промышленности и в новых отраслях промышленности. Конструктивно эти аппараты достаточно просты, имеют низкие эксплуатационные расходы, надежны в работе и обеспечивают достаточно высокую степень очистки газов.

За рубежом разработкой зернистых фильтров в основном занимается фирма «Лурги» (ФРГ). Она поставляет фильтры в различные стра-

ны в основном для очистки газов печей обжига клинкера производительностью до $250 \text{ т}^3/\text{ч}$, а при температуре 250°C фирма гарантирует эффективную очистку от пыли в ряде других производств, в том числе на ферросплавных печах. В США также наблюдается повышенный интерес к разработке конструкций зернистых фильтров.

Разработано большое число аппаратов с зернистым слоем, различающихся как конструкцией фильтрующих элементов, так и способом регенерации. Перспективными можно считать конструкции с импульсной продувкой без применения механических устройств регенерации. В зависимости от вида улавливаемых пылей и режима работы зернистые фильтры обеспечивают степень очистки газов $95\text{--}99,5\%$ при скорости фильтрации $15\text{--}35 \text{ м}^3/\text{мин}$. Гидравлическое сопротивление фильтра составляет $1300\text{--}3000 \text{ Па}$. Как правило, зернистые фильтры используются для обеспыливания небольших объемов газа.

Несмотря на большое число разработанных конструкций, широкого распространения зернистые фильтры не получили прежде всего из-за особенностей их эксплуатации по сравнению с рукавными фильтрами. Разработкой зернистых фильтров заняты НИИОгаз, НИПИОТстром, ВНИПИчерметэнергоочистка и другие организации [60, 61].

Зернистые фильтры, регенерируемые продвижением слоя

Особенностью фильтров этого типа является непрерывное движение рыхлого слоя, который вместе с уловленной пылью проходит через вибрирующий экран. Схема такого устройства показана на рис. 3.32, а. Слой гранул 3, в котором осаждаются частицы пыли, медленно движется вниз. На вибрирующем экране 2 уловленные частицы пыли отсеиваются и попадают в бункер 1. Очищенный фильтрующий материал с помощью механического или пневматического конвейера 9 снова подается наверх в бункер 6. Для непрерывного возобновления движущегося слоя необходима громоздкая и дорогостоящая система циркуляции гранул. Поэтому эти фильтры не получили широкого распространения.

Зернистые фильтры (рис. 3.32, б) обладают тем преимуществом, что позволяют возвращать непосредственно в технологический цикл фильтрующий слой, состоящий из зерен шихты, вместе с уловленной пылью. Подобные установки применяют в асбестовой промышленности для улавливания пыли асбестовой породы из потока газов, выходящих из огневой сушилки. Концентрация пыли на входе в фильтр составляет $14 \text{ г}/\text{м}^3$, на выходе из фильтра $0,5 \text{ г}/\text{м}^3$. В качестве фильтровального материала используется кусковая порода размером $12\text{--}40 \text{ мм}$.

Зернистые фильтры, регенерируемые импульсной продувкой с периодическим движением вертикального слоя

На рис. 3.32, в приведена схема такого аппарата, отличительными особенностями которого являются: возможность более длительного рабочего цикла зернистого слоя без его замены, а при необходимости быстрая смена слоя; способность работать при более высоких температурах; отсутствие вращающихся узлов; возможность использования аппарата при комплексной очистке газов в качестве фильтра-реактора (адсорбера). К недостаткам аппарата относятся неравномерное распределение импульсного потока при регенерации фильтровальной поверхности и залегание зернистого слоя на жалюзийных решетках.

Испытания такого аппарата в Запорожском филиале НИИОгаз показали хорошие результаты [62, 63]. Зернистый материал, расположенный на газопроницаемых перегородках, при выпуске зерен черз

разгрузочное устройство (см. рис. 3.32, в) остается без движения, а удаляется лишь та часть слоя, перед которой нет преграды, расположенная между сеткой 3 и нижними краями наклонных перегородок. Подача кратковременных импульсов через сопло 5 приводит к неравномерному сбросу зерен с пылью с перегородок, что является недостатком аппарата. Кроме того, при фильтровании через зернистые филь-

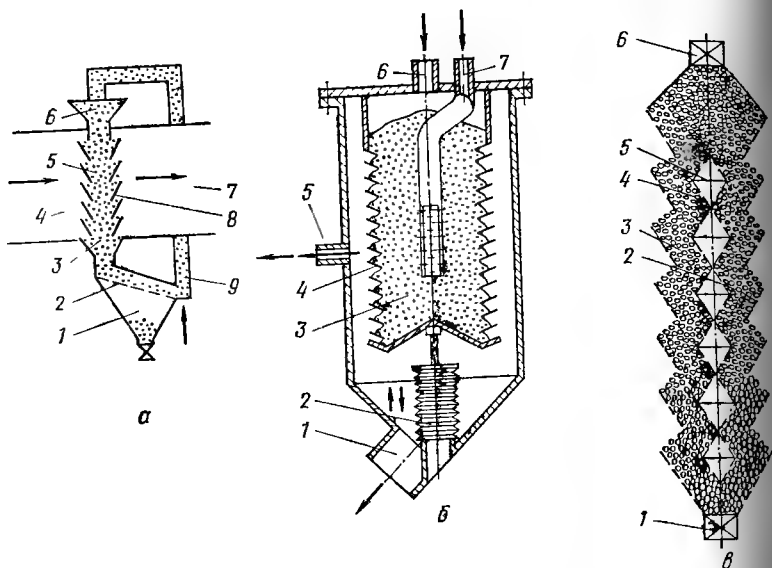


Рис. 3.32. Схемы зернистых фильтров:

а — с регенерацией продвижением слоя; 1 — бункер для отработанных зерен; 2 — выбросито; 3 — зернистая фильтровальная перегородка; 4, 7 — газоходы грязного и чистого газа; 5, 8 — перфорированные экраны; 6 — бункер для свежих зерен; 9 — линия возврата продукта; б — с регенерацией продвижением слоя для сушилок; 1, 6 — штуцеры для загрузки свежих и удаления отработанных зерен; 2 — сильфон; 3 — зернистая фильтровальная перегородка; 4 — решетка; 5, 7 — газоходы чистого и грязного газа; 8 — перфорированный экран; в — с регенерацией импульсной продувкой при периодическом перемещении вертикального слоя; 1 — разгрузочное устройство; 2, 3 — перфорированные экраны (сетки); 4 — зернистая фильтровальная перегородка; 5 — сопло; 6 — загрузочное устройство [60]

тровальные перегородки происходит значительная потеря энергии импульса.

С учетом положительных особенностей аппарата с регенерацией импульсной продувкой в Запорожском филиале НИИОгаза были разработаны принципиально новые конструкции зернистых фильтров типа ФЗВИ для комплексной очистки газов от твердых и газообразных вредных веществ при высоких температурах. При заполнении аппарата инертным фильтровальным материалом он работает как пылеуловитель, например при очистке газов сушильных барабанов магнезита в огнеупорной промышленности [62]. При заполнении аппарата катализатором он используется как фильтр-реактор, например при очистке от пыли и окиси углерода газов регенерации катализатора каталитического

крекинга нефтепродуктов [63]. При заполнении фильтра сорбентом он используется как фильтр-адсорбер, например при очистке от фтористых и других вредных соединений, присутствующих в газах флюсоплавильных, стекловаренных и других печей.

Аппарат ФЗВИ [63] имеет открытую фильтрующую поверхность, и при подаче импульса сжатого воздуха вместе с уловленной пылью может быть сброшена часть лобового слоя фильтрующего материала. Конструкция этого аппарата предполагает также возможность постоянного или периодического продвижения фильтрующего слоя путем

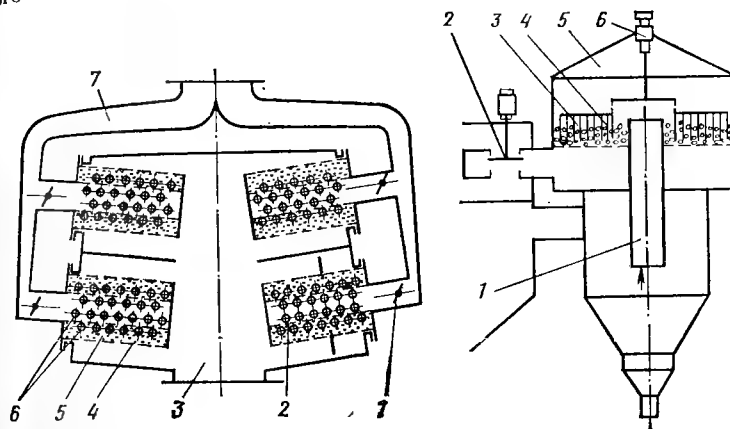


Рис. 3.33. Схема зернистого фильтра с регенерацией импульсной продувкой при периодическом перемещении вертикального слоя:

1 — заслонки; 2, 4 — перфорированные экраны; 3, 7 — газоходы грязного и чистого газа; 5 — зернистая фильтровальная перегородка; 6 — теплообменные трубы

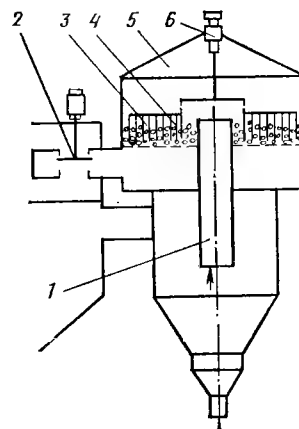


Рис. 3.34. Схемы зернистых фильтров с регенерацией рыхлением и обратной продувкой:

1 — выхлопная труба циклона; 2 — клапан; 3 — зернистая фильтровальная перегородка; 4 — скребки; 5 — корпус; 6 — привод

сброса его из нижней части кассеты импульсным давлением. Аппарат этой конструкции предназначен для очистки газов в тех отраслях промышленности и технологических процессах, где в качестве фильтрующего материала может быть использован материал основного технологического производства (например, различные шихтоподготовительные переделы).

Модель фильтра типа ФЗВИ была испытана при производстве сварочных флюсов на Никопольском ферросплавном заводе по очистке газов от пыли и фтористых соединений при температуре до 200 °С [61]; на установке крекинга 43-102 на Новокуйбышевском нефтеперерабатывающем заводе по дожигу окиси углерода на серийном катализаторе АП-56 при температуре до 500 °С [62]; на Запорожском огнеупорном заводе при очистке газов, отходящих с температурой до 250 °С от барабана сушилки магнезита шихтовыми материалами.

К зернистым фильтрам этого же типа относятся аппараты, в которых равномерного распределения импульсного потока по фильтровальной поверхности можно достичь использованием различных коллекторных систем и испарительных контуров, смонтированных внутри корпуса для эффективного отвода тепла (рис. 3.33).

Зернистые фильтры с регенерацией рыхлением (ворошением) и обратной продувкой (фильтры-циклоны)

Различные конструктивные варианты фильтров с регенерацией рыхлением (ворошением) и обратной продувкой (рис. 3.34) находят широкое применение, особенно за рубежом. Сюда следует отнести аппарат для тонкой очистки газов с температурой выше 500 °С, разработанный фирмами «Сасебо дзюкоге» (Япония) и «Рекс норд» (США) [60]. По данным японской фирмы, преимуществами аппарата являются возможность сухой очистки газов с температурой выше 500 °С до остаточной запыленности менее 0,05 г/м³, высокая стойкость фильтрующего слоя против абразивного износа, стабильность процесса очистки, простота обслуживания.

Скорость фильтрации газа в зависимости от типа и размера зерен составляет от 17 до 50 м/мин, газодинамическое сопротивление фильтров находится в пределах от 0,5 до 1,5 кПа. При начальной концентрации пыли более 12 г/м³ перед фильтрами устанавливают циклоны. Остаточное содержание пыли в очищенных газах обычно составляет от 10 до 100 мг/м³, эффективность очистки — от 99 до 99,8 %.

К недостаткам фильтров относится накопление пыли в камерах, расположенных под фильтрующими слоями гравия, что может привести к забиванию каналов для прохода газа. Кроме того, при вынужденных остановках фильтра возможны конденсация влаги из-за снижения температуры, а также уплотнение фильтровального слоя, что создает сложности для его замены. В СССР подобные фильтры (типа ФЦГН) разработаны Семибратовским филиалом НИИОгаза [60].

Зернистые фильтры с регенерацией удалением лобового слоя скребками

Установлено, что в случае применения в качестве фильтровального слоя фракций 0,5—2 мм достигается высокая степень очистки за счет лобового слоя, непосредственно соприкасающегося с запыленными газами, при этом лишь незначительная часть пыли проникает в глубь слоя. Накопление массы пыли по толщине слоя происходит по экспоненциально убывающему закону. Данное свойство мелкозернистого материала использовано в фильтрах с регенерацией, осуществляемой путем удаления незначительной части лобового слоя скребками (рис. 3.35) [63, 64].

Зернистые фильтры с регенерацией вибровстряхиванием и обратной продувкой

Зернистые фильтры с регенерацией вибровстряхиванием и обратной продувкой конструкции Научно-исследовательского и проектного института по газоочистным сооружениям, технике безопасности и охране труда в промышленности строительных материалов (НИПИОТстрома) имеют фильтровальную поверхность одной секции от 1 до 5,4 м²; при групповой компоновке можно достичь производительности по газу от 3 до 150 тыс. м³/ч. В каждой секции расположено три фильтровальных слоя толщиной по 100 мм; в первом слое по ходу газов находятся зерна размером 5—10 мм, во втором 3—5 мм и в третьем 2,5—3 мм (рис. 3.36).

К недостаткам таких фильтров относится наличие значительных вибрирующих масс и гибких эластичных уплотнений, что снижает надежность и механическую прочность узлов и аппарата в условиях высоких температур. Кроме того, вибровстряхивание практически неэффективно без обратной продувки слоев значительным количеством газа

(воздуха) с более низкой температурой, что в условиях высокотемпературного фильтрования приводит к резким температурным перепадам и даже к конденсации влаги. В последних конструкциях для регенерации применены ударные волны, которые испытаны на опытно-промышленном образце зернистого фильтра. Использование этого метода реге-

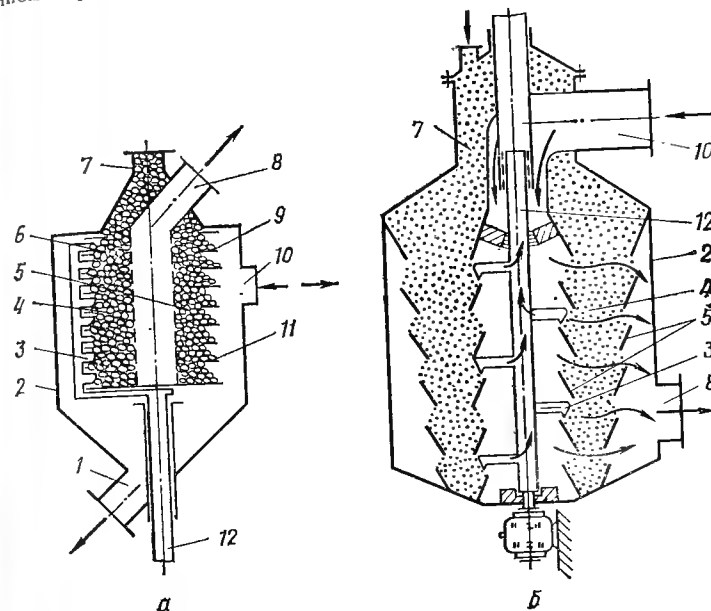


Рис. 3.35. Схема зернистых фильтров с регенерацией удалением лобового слоя скребками:

а — по [29]; б — по [32]; 1, 7 — штуцера для загрузки свежих и удаления отработанных зерен; 2 — корпус; 3 — гребенка; 4 — зернистая фильтровальная перегородка; 5 — перфорированный экран; 6 — люк; 8, 10 — газоходы грязного и чистого газа; 9 — стяжки; 11 — пакет колец; 12 — вал

рации позволяет упростить эксплуатацию зернистых фильтров и снизить их металлоемкость.

Зернистые фильтры, регенерируемые импульсным псевдоожижением фильтровального слоя

В фильтрах фирмы «Дьюкон» (США) [66] в качестве фильтровального слоя использован кварцевый песок с размером частиц 0,8 мм. Этот аппарат опробован для обеспыливания дымовых газов регенератора каталитического крекинга с кипящим слоем на нефтеперерабатывающем заводе [66]. Установка имеет следующие технические данные:

Температура газа, °С	380—480
Давление, МПа	1—1,5
Концентрация пыли, г/м³	0,3—1,9
Медианный диаметр частиц пыли, мкм	35
Степень очистки, %	От 85 до 98

В СССР разработка конструкций подобных фильтров ведется Запорожским филиалом НИИОгаза. Отсутствие в этих фильтрах вращающихся и вибрирующих деталей является предпосылкой для их широкого применения при высоких температурах. Кроме того, эти аппараты могут быть автоматизированы по типу рукавных фильтров. Имеется ряд авторских свидетельств на зернистые фильтры, решающих следующие задачи: повышение эффективности очистки; обеспечение компактности

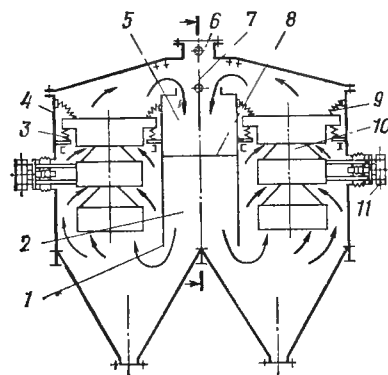


Рис. 3.36. Схема зернистого фильтра с регенерацией вибровстряхиванием и обратной продувкой:

1 — коллектор; 2, 5 — камеры запыленного и очищенного газа; 3 — пружины; 4 — корпус; 6, 7 — дроссели продувочного воздуха и очищенного газа; 8 — перегородка; 9 — уплотнения; 10 — секция фильтра; 11 — вибратор

(3—5 лет) зернистого материала, т. е. в тех производствах, где отсутствует материал нужной крупности и твердости. В соответствии с этим зернистый материал размещен в отдельных замкнутых ячейках, ограниченных сверху сетками, которые при подаче импульса сжатого воздуха пропускают уловленную пыль, но предотвращают вынос зернистого материала.

Результаты испытаний зернистых фильтров в отраслях промышленности

В 1981 г. ВНИИтехуглерод провел испытания зернистого фильтра типа ФНС-50/16 для улавливания сажи; в качестве фильтрующего слоя использовали высокопрочные гранулы технического углерода или пироуглерода [67]. В процессе испытаний были получены следующие результаты:

Производительность по газу, м ³ /ч	38000—44000
Температура, °С:	
на входе	200—230
на выходе	150—165
Гидравлическое сопротивление фильтра, кПа	2,7—3,4
Удельная газовая нагрузка, м ³ /(м ² ·мин)	13—16

Концентрация пыли (технического углерода), г/м³:

перед фильтром	0,22—0,33
после фильтра	0,011—0,020
Степень очистки, %	95—96

На Московском асфальтобетонном заводе сдан в эксплуатацию зернистый фильтр типа ФЦГН-30 (см. рис. 3.36). При температуре газов, отходящих от барабана, 250 °С, скорости фильтрации 6—20 м/мин и входной запыленности до 15 г/м³ (частицы кварца и клинкера со средним диам. частиц 5—20 мкм) получена степень очистки до 95 % [68]. На Новокуйбышевском нефтеперерабатывающем заводе испытана двухступенчатая схема очистки газов регенерации катализатора в процессе каталитического крекинга [62, 63].

На первой ступени установки, имеющей производительность до 2000 м³/ч, была предусмотрена очистка газа от пыли в зернистом фильтре с импульсной регенерацией, а на второй ступени — дожигание СО в фильтре-реакторе, выполненном по типу аппарата ФЗВИ 18×1-400. Для очистки от пыли был использован слой песка толщиной 150 мм с размером зерен 0,5—1,0 мм. Очищаемый газ имел следующие параметры: содержание СО до 4 % (объемн.), концентрация пыли до 1 г/м³, давление 260—2500 Па, влагосодержание 27—54 г/м³, средний размер частиц 0,5 мкм. Аппарат испытан в диапазоне удельных газовых нагрузок 400—1900 м³/(м²·ч); при этом перепад давления на фильтре составлял 250—2250 Па, а остаточное содержание пыли не превышало 3 мг/м³. Запыленный зернистый слой регенерировался автоматически через каждые 30 мин подачей двух импульсов сжатого воздуха длительностью 0,8 с. В качестве катализатора применялся катализатор платформинга АП-56 с частицами цилиндрической формы диаметром 3 и высотой 4 мм. Толщина слоя катализатора около 130 мм.

В течение 360 ч непрерывной работы установки степень очистки от СО в фильтре-реакторе составила 99,9 %. Перепад давлений к концу испытаний возрос с 2600 до 2900 Па. При последующих испытаниях длительностью 520 ч регенерацию катализатора от пыли осуществляли два раза в сутки подачей двух—трех импульсов сжатого воздуха, при этом перепад давления оставался практически постоянным [69]. В другом случае [63] длительная эксплуатация такого реактора (в течение 1500 ч) при содержании в газах, кроме оксида углерода [2—4 % (объемн.)] и пыли (0,5—1,0 г/м³), также углеводородов при продувке слоя катализатора от пыли импульсами сжатого воздуха показала следующие результаты:

Объемная скорость, ч ⁻¹	10000	25000
Степень очистки, %:		
от суммы СО и углеводородов при температуре:		
400 °С	85,0	82,8
450 °С	97,0	95,2
500 °С	99,8	98,7
от пыли	72,0	67,0

После 700-ч эксплуатации катализатора без регенерации полное восстановление его активности достигалось тремя сериями импульсов, подаваемых с интервалом в одни сутки. Потери катализатора за два года эксплуатации составили 15 л на 100 л загрузки в реактор. Гид-

ТЕХНИЧЕСКАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА ЗЕРНИСТЫХ ФИЛЬТРОВ НИПИОТстрема¹

гидравлическое сопротивление слоя катализатора за 400 ч непрерывной эксплуатации без импульсной продувки возрастает от 2600 до 4000 Па при одновременном снижении степени очистки. Эти испытания показали возможность применения зернистых фильтров для комплексной очистки выбросов, содержащих пыль, оксид углерода и углеводороды.

Испытания двухслойного зернистого фильтра [63] с вертикальными цилиндрическими слоями на очистке фторсодержащих газов при производстве флюсов показали возможность применения подобного аппарата для комплексной очистки выбросов, содержащих мелкодисперсную пыль и фтористые соединения. Температура отходящих газов при испытаниях составляла 325 °С. Первый слой по ходу запыленных газов толщиной 0,15 м состоял из дробленого доломита с размером зерен 2—4 мм, второй — из марганцевой руды (толщина слоя 0,1 м, размеры зерен 2—4 мм). Общая площадь фильтрации составляла 7,5 м², удельная газовая нагрузка 1000 м³/(м²·ч). В первом слое в основном улавливалась пыль и частично газообразные соединения. Доулавливание пыли и адсорбция фтористых соединений происходили во втором слое. Отработанные по вертикали слои зерна выводились из аппарата. Продвижение первого слоя осуществлялось при достижении гидравлического сопротивления 1,5 кПа, а второго — при снижении эффективности улавливания фтористых соединений до 95 %. Остаточная запыленность газов не превышала 60 мг/м³ даже при продвижении слоя со средним расходом доломита 100 кг/ч. Период фильтрации запыленных слоев изменялся в зависимости от входной запыленности в диапазоне 10—20 мин. При улавливании фтористых соединений с эффективностью 95—97 % расход марганцевой руды составил 390 кг/ч. Остаточная концентрация фтористых соединений не превышала 33—55 мг/м³. После регенерации (очистки от пыли) дробленый доломит возвращался в аппарат. Отработанная марганцевая руда может быть возвращена во флюсоплавильную печь.

На Челябинском металлургическом комбинате эксплуатируется цилиндрический зернистый фильтр (см. рис. 3.35, б), обеспечивающий очистку дымовых газов 10-т электросталеплавильной печи [62—64]. Фильтр загружен доломитовой крошкой фракции 2—5 мм. Аппарат рассчитан на 10 тыс. м³/ч газа при газовой нагрузке 0,5—0,6 м³/(м²·с). При входной запыленности 5—9 г/м³ остаточная достигает 60—90 мг/м³. Скребок механизм включается при достижении сопротивления слоя 4 кПа и выключается при снижении сопротивления до 3,4 кПа. Аппарат эксплуатируется в автоматическом режиме и имеет следующие технические характеристики:

Производительность по газу, тыс. м ³ /ч	10—15
Максимальный перепад давлений, кПа	4
Степень очистки, %	98,4

Недостатком фильтров этого типа является большое гидравлическое сопротивление, превышающее обычное почти в два раза.

НИПИОТстром разработал зернистые фильтры серии ЗФ с фильтрующей поверхностью одной секции от 1 до 5,4 м², что при комплектовании в группы обеспечивает пропускную способность их от 3 до 150 тыс. м³/ч (табл. 3.21).

В каждой секции имеются три фильтрующих слоя толщиной до 100 мм; в первом слое по ходу газов находятся зерна размером 5—10, во втором 3—5 и в третьем 2,5—3 мм. Газовая нагрузка (при концентрации на входе в агрегат до 15 г/м³) от 15 до 25 м³/(м²·мин); гидравлическое сопротивление 1200—1500 Па; максимальная температура газа на входе до 400 °С; конечная запыленность 100—120 мг/м³; газовая

Показатели	ЗФ-4М	ЗФ-5М	ЗФ-6М	ЗФ-8	ЗФ-10
Производительность, тыс. м ³ /ч	2,5—5	5—10	10—40	10—150	10—30
Площадь фильтрования, м ²	2—4	4—8	7,8—31,2	8—120	15,8—37
Число секций	2—4	2—6	2—8	2—30	6—14
Число фильтрующих слоев	3	3	3	3	2
Продолжительность фильтрации, мин	40—60	40—60	40—60	40—60	10—15
Продолжительность регенерации, мин	2—4	2—4	2—4	2—4	0,5—1,0
Предельная начальная запыленность, г/м ³	20	20	20	20	5
Масса фильтра, т: с наполнителем	2,5—5	4,5—9	9—3,6	14—180	15—34
без наполнителя	1,5—3	2,5—5	5—20	10—129	9,5—18,5

Примечание. Наполнитель — гравий крупностью 3—10 мм.

¹ Гидравлическое сопротивление фильтра 600—1500 Па; степень очистки 95—99 %.

нагрузка при регенерации 5—15 м³/(м²·мин); продолжительность периода фильтрования 15—40 мин; длительность регенерации 2—3 мин.

Фильтры типа ЗФ-4 производительностью около 3 тыс. м³/ч, установленные на силосах цемента в Новороссийске, работают с 1970 г., фильтр ЗФ-6 производительностью около 36 тыс. м³/ч — на фабрике вторичного дробления карьера «Перевал» (г. Слюдянка Иркутской обл.) [70].

В фильтрах ЗФ-4 НИПИОТстрема используются материалы с высоким электрическим сопротивлением. В подготовительном нижнем слое находятся гранулы из поликарбоната размером 10—19 мм, а в фильтрующем слое — гранулы полистирола средним размером 3,25 мм. Перед подачей газа насыпной слой приводится в колебательное движение. За счет трения гранулы электрически заряжаются, что позволяет увеличивать степень очистки. При испытании опытного фильтра ЗФ-4 для улавливания пыли на цементных силосах степень очистки составляла 99—58 %; концентрация пыли на выходе из аппарата 20—70 мг/м³; гидравлическое сопротивление 0,7—1 кПа.

При регенерации зернистых фильтров воздействием вибраторов подвигается вся масса фильтра, что в 2—3 раза увеличивает механические нагрузки и износ основных узлов аппарата. Для повышения эффективности регенерации и надежности этих аппаратов НИИцемент разрабо-

тал конструкцию зернистого фильтра, в котором при регенерации воздействию подвергается только фильтрующий слой зерен.

В НИИОгазе разработан фильтр-циклон (рис. 3.37), в котором в качестве первой ступени служит циклон; регенерация насыпного слоя осуществляется ворошением и обратной продувкой.

Запыленный поток, проходя через циклон 1, подвергается очистке от наиболее крупных частиц пыли, после чего поступает к фильтрующему зернистым слоям 7. Проходя через слой сверху вниз, газ очищается и через переключающий клапан 12 поступает в коллектор очищенного газа 4. По мере осаждения пыли увеличивается гидравлическое сопротивление фильтрующего слоя и он подвергается регенерации. Клапан 12 отключает секцию фильтра от коллектора очищенного газа 4 и соединяет ее с раздающим коллектором продувочного воздуха или газа 11. Одновременно включается механизм ворошения 6. Продувочный воздух, проходя через фильтрующий слой снизу вверх, увлекает за собой частицы пыли и уносит их в циклон, где оседают наиболее крупные пылевые частицы. Не уловленная циклоном часть пыли вместе с потоком поступает в другие работающие секции.

При ворошении гранулы, перемещаясь, способствуют отделению пыли, которая не удаляется из насыпного слоя продувочным потоком. Регенерация обычно длится 2—3 мин и осуществляется поочередно в каждой секции. На правой стороне рис. 3.37 показана секция аппарата в процессе фильтрования, а на левой стороне — положение переключающего клапана во время регенерации насыпных слоев. Для уменьшения колебаний гидравлического сопротивления установки и ее производительности фильтр-циклон должен иметь не менее четырех секций. Техническая характеристика гравийных фильтров-циклонов НИИОгаза приведена ниже.

Рис. 3.37. Схема зернистого фильтра-циклона:

1 — циклон; 2 — корпус; 3 — привод ворошителя; 4 — коллектор чистого газа; 5 — вал привода ворошителя; 6 — фильтрующий слой; 7 — камера чистого газа; 8 — пылевыгрузочные устройства; 9 — коллектор грязного газа; 10 — коллектор продувочного воздуха; 11 — переключающий клапан

Показатели	Тип фильтра-циклона	
	ФГЦН-120	ФГЦН-30
Площадь фильтровальной поверхности, м ²	124	28,8
Фильтровальный материал (гранулы гравия), мм	2—4	2—4
Скорость фильтрования, м/мин	15—20	15—20

Показатели

Тип фильтра-циклона

ФГЦН-120

ФГЦН-30

1800—2200

1600—2000

Сопротивление фильтра, Па
Максимальная температура газа на входе в аппарат, °С

400

400

Допустимая концентрация пыли на входе в аппарат, г/м³

30

30

Концентрация пыли на выходе, мг/м³

50—180

50—180

Число элементов в аппарате

10

4

Диаметр фильтрующего элемента, мм

2600

2160

Тип циклона

ЦН-15У

ЦН-24

Диаметр циклона, мм

1200

800

Тип привода механизма ворошения

МПО2-26ВК 5,5/5,6

МПО2-18ВК 6,7

Тип привода переключающего механизма

Пневмопривод

ППЭ-1

—

Число оборотов ворошителя в 1 мин

5,6

6,7

Габариты, мм:

длина

15300

5930

ширина

7570

4440

высота

11900

8700

Масса без теплоизоляции, кг

68000

20000

Условная скорость газа при фильтровании в зернистой среде составляет 0,3—0,5 м/с, а при обеспыливании в циклоне — порядка 3—4 м/с. Следовательно, для эффективной работы фильтра-циклона, в котором зернистый слой регенерируют путем перемешивания с обратной продувкой, площадь поперечного сечения фильтра должна быть в 8—10 раз больше площади сечения циклона. Эти аппараты целесообразно применять при высокой входной концентрации пыли в газе, когда циклон необходим для предварительного обеспыливания.

3.6. ЭКСПЛУАТАЦИЯ ТКАНЕВЫХ ФИЛЬТРОВ

Достижение проектных показателей по эффективности и надежности работы тканевых фильтров возможно при соблюдении проектных параметров пылегазового потока (температуры, влажности, расхода газопылевого потока и др.). Превышение температуры газов выше допустимой приводит к уменьшению срока службы ткани, она становится жесткой и хрупкой. При снижении температуры газов до точки росы происходит конденсация паров воды, в результате чего пыль, осевшая на ткани, увлажняется, слипается, замазывает поры ткани, в результате резко повышается газодинамическое сопротивление аппарата.

При обеспыливании в рукавных фильтрах дымовых газов возникает необходимость в тонкой регулировке температуры. Здесь наиболее приемлемым методом охлаждения газов является смещение их с атмосферным воздухом путем автоматического регулирования необходимого количества подсосываемого воздуха. При пуске аппарата в работу сначала включают шнек, шлюзовые затворы, механизмы регенерации ткани, вентилятор регенерации, после чего газопылевой поток подается в рукавный фильтр. Остановка фильтра проводится в обратном порядке.

Способы крепления и натяжения рукавов оказывают значительное влияние на сроки их службы. Чаще всего рукава надеваются на патрубки и уплотняются на них хомутами с винтовыми зажимами или другими специальными уплотняющими приспособлениями. На патрубках предусматривают кольцевые буртики, предотвращающие соскальзывание рукавов. Так как в этом месте ткань наиболее изнашивается, эту часть рукавов усиливают или пропитывают латексом.

Основным показателем, характеризующим работу фильтра, является величина его гидравлического сопротивления. При нормальной работе фильтра, хорошей регенерации ткани и оптимальной расчетной нагрузке гидравлическое сопротивление аппарата должно составлять примерно 800—900 Н/м². В случае применения рукавов из стеклоткани сопротивление аппарата обычно составляет 1500—1800 Н/м². Уменьшение газодинамического сопротивления является следствием снижения расхода пылегазового потока, снижения концентрации пыли или наличия неплотностей в фильтрующих элементах. В последнем случае снижается степень очистки. Цикличность регенерации ткани выбирают опытным путем в зависимости от степени запыленности газа и скорости фильтрации.

Основные причины неудовлетворительной работы тканевых фильтров

Часто причиной низкой эффективности фильтров является наличие щелей в местах стыковки распределительной трубной решетки с корпусом аппарата, в местах крепления рукавов к патрубкам решетки и т. д. Устранение указанных неплотностей и проверка аппарата на герметичность проводятся при монтаже фильтра, плавово-предупредительных ремонтах. Навешивание рукавов в фильтры целесообразнее проводить комплексно для каждой секции одновременно. Комплект может состоять как из новых, так и из бывших в употреблении, но отбракованных и подвергнутых ремонту рукавов. Однако подобный комплект должен состоять из рукавов, проработавших одинаковое количество времени, т. е. обладающих одинаковой степенью износа.

Наибольшему износу рукава подвергаются в нижней своей части, примерно на длине 300—400 мм от нижней газораспределительной решетки. Причиной такого износа являются повышенные скорости газов в нижней части рукава, особенно при провисании рукава и уменьшения его входного сечения, а также временные скачки температуры поступающих на очистку газов. При повышенных скоростях газов происходит износ ткани из-за истирания ее пылью, поэтому для работы в таких условиях рукав изготавливают составным из двух частей. Нижняя часть рукава является сменной.

Во время обратной продувки ткани рукава сжимаются. Во избежание их чрезмерного сплющивания, которое затрудняет стекание уловленной пыли в бункер, рукава, выполненные из хлопчатобумажных, шерстяных или синтетических тканей, снабжаются кольцами жесткости. Шаг колец уменьшается для нижней, менее натянутой части рукава. На рис. 3.38 показан фильтровальный рукав с пришитыми кольцами жесткости и сменной нижней частью.

Крепление колец к рукавам является достаточно сложной операцией и особенно на крупных установках, где число рукавов исчисляется тысячами. Поэтому на установках с малой газовой нагрузкой на ткань и более крупной пылью, т. е. когда гидравлическое сопротивление ткани невелико, наличие колец жесткости на рукавах не обязательно.

Накопленный опыт по фильтрации газов подтверждает целесообразность более широкого перевода действующих рукавных фильтров на использование стеклоткани, особенно при обслуживании высокотемпературных технологических процессов. Рукав любой конструкции, изготовленный из обычной ткани, чаще всего очищается от пыли при помощи встряхивания и обратной обдувки, использование же стеклоткани позволяет очищать рукава только за счет обратной обдувки.

Перед пуском в работу фильтров с уплотняющими устройствами в шнеки насыпают достаточное количество пыли для образования запирающей пробки. Оптимальная форма и высота металлического листа у уплотняющего шнека, так же как и длина участка, на котором образуется пробка в результате изъятия части витков, должны определяться опытным путем в зависимости от свойств пыли и перепада давлений.

Срок службы тканей зависит от качества монтажа и ухода за рукавами и механизмами регенерации. Особенно высокие требования предъявляются к установкам, работающим при высоких температурах, поэтому эксплуатационные расходы для этих фильтров значительно выше, чем для аппаратов, работающих при обычной температуре.

Фильтровальный материал в типовом рукавном фильтре с механическим встряхиванием и обратной продувкой подвергается комплексу механических воздействий. Перед пуском фильтра, хотя ткань рукава натянута (рис. 3.39, а), из-за несовершенства конструкции узлов крепления не удается обеспечить равномерного натяжения продольных нитей основы, поэтому образуются складки, особенно на участках, прилегающих к местам крепления. При подаче запыленного газа рукав раздувается (рис. 3.39, б). Возникают растягивающие усилия, стремящиеся сорвать рукав с мест крепления; при этом он непрерывно вибрирует под действием колебаний напора газа.

Давление газа прижимает слой пыли к фильтровальному материалу, поэтому для ее удаления необходимо перекрыть газовый поток, в результате чего форма рукава изменяется (рис. 3.39, в), отличаясь от первоначальной наличием складки вблизи нижнего крепления рукава, образующейся под влиянием некоторого его удлинения в процессе работы фильтра.

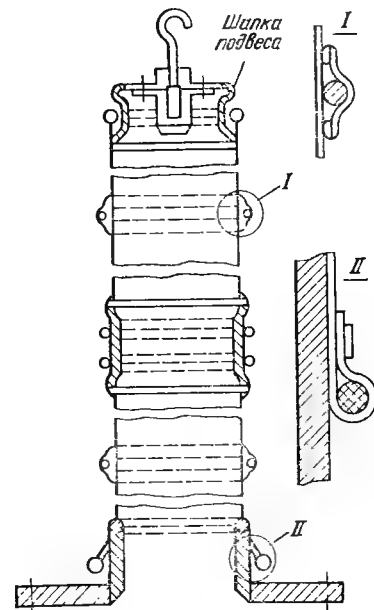


Рис. 3.38. Фильтровальный рукав с пришитыми кольцами и сменной нижней частью

После встряхивания в нижней части рукава образуются многочисленные складки (рис. 3.39, а). Высота участка ткани, на котором сосредоточено основное количество складок, составляет 300—400 мм. Практика эксплуатации фильтров показала, что первые разрывы возникают обычно в нижней зоне рукава, где ткань подвергается интенсивному изгибу.

При обратной продувке (рис. 3.39, б) фильтровальный материал подвергается изгибу в местах крепления. Одновременное действие продувки и механического встряхивания (рис. 3.39, в) вызывает еще больший изгиб. Таким образом, механический износ в рукавном фильтре ха-

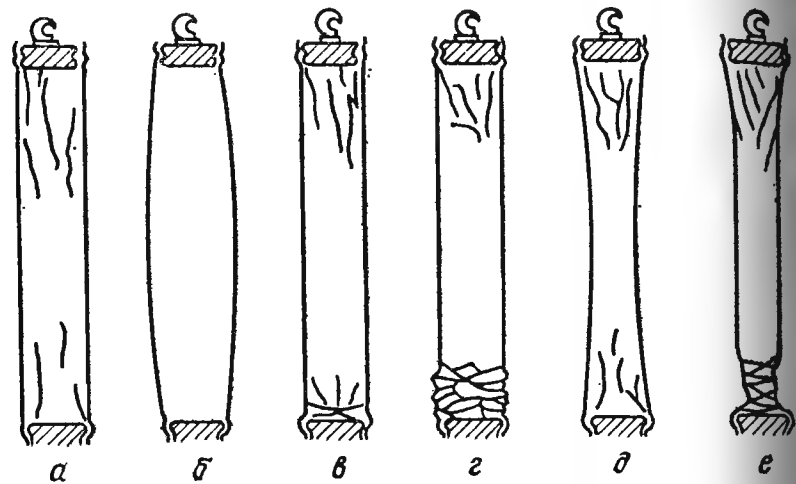


Рис. 3.39. Схема износа рукава тканевого фильтра

рактеризуется постоянным возникновением и исчезновением складок, т. е. многократным знакопеременным изгибом, что вызывает взаимное истирание волокон. Механическое встряхивание, основанное на резком изменении скорости падения рукава, связано также с динамическими нагрузками.

Приведенная схема износа фильтровального материала характерна для комбинированной системы регенерации с механическим встряхиванием и обратной посекционной продувкой. Но при других системах регенерации фильтровальный материал в конечном счете также повреждается в основном под действием многократных изгибов.

При обеспыливании газов металлургических агрегатов существует опасность попадания на поверхность тканей расплавленных или расплавленных крупных частиц, способных вывести из строя стеклянную ткань, что связано с необходимостью замены рукавов. Для осаждения крупных горячих частиц используют механические пылеуловители и встряхиваемые сетки. При высокой концентрации тонкодисперсных частиц перед фильтрацией их укрупняют в циклонах или в газоходах с диафрагмами.

При очистке сухих газов от пылей с высоким электрическим сопротивлением фильтровальные ткани из синтетических и стеклянных волокон заряжаются, например, до 60 кВ, что создает опасность возник-

новения пожара в фильтре в результате электрического пробоя воздушного промежутка между рукавом и корпусом аппарата. Для защиты от электризации в ткани вставляют тонкие металлические проволоочки или пропитывают их антистатическими электропроводящими составами.

Для предотвращения образования трудноудаляемых отложений на тканях при обработке гигроскопических пылей (на содовых и цементных заводах, при обжиге извести и др.) тканям придают водоотталкивающие свойства. Для этого их обрабатывают метил- или фенил-силиконами. Гидрофобные покрытия сохраняют свои свойства длительное время при температуре до 200 °С.

Существенно влияет на эксплуатацию рукавных фильтров и фильтров с насыпным слоем герметичность переключающих клапанов и пылевыгрузных устройств. Подсосы из атмосферы и коллектора продувочного воздуха значительно увеличивают гидравлическое сопротивление, а следовательно, и энергетические затраты. Срок службы фильтровальных элементов нужно устанавливать для каждого материала применительно к условиям эксплуатации. Рукава из лавсана в нормальных условиях работают от 8 до 20 тыс. ч. При улавливании высокоабразивных пылей с повышением температуры срок службы значительно снижается.

Надежность работы, эффективность очистки и эксплуатационные затраты при использовании тканевых фильтров зависят от назначения системы пылеулавливания и условий эксплуатации. Как правило, фильтры, улавливающие основной продукт или являющиеся неотъемлемой частью технологического оборудования, работают наиболее эффективно. Мероприятия по уходу за фильтрами должны быть предусмотрены в виде специальной инструкции еще до монтажа с учетом особенностей технологического процесса. В инструкции излагается порядок обслуживания, осмотра и ремонта установки. В процессе эксплуатации фильтра контролируется эффективность улавливания и при ее снижении принимаются необходимые меры, устраняющие причины ухудшения работы фильтра. Для этого периодически отбираются пробы, а иногда устанавливают оптические или другие приборы, обнаруживающие повышение выходной концентрации. Места утечек газа из чистой зоны обычно обнаруживаются при визуальном осмотре.

Фильтры с комбинированной регенерацией типов ФВК и ФВ имеют несколько лучшие показатели надежности по сравнению с фильтрами типа РФГ, хотя системы регенерации ткани этих фильтров принципиально не отличаются. Это объясняется облегченными условиями эксплуатации фильтров ФВК и ФВ — фильтры работают в основном при температуре 20 °С, фильтры же типа РФГ установлены преимущественно за цементными мельницами и печами цветной металлургии в условиях температуры порядка 100 °С, повышенных запыленности и скорости фильтрования. В фильтрах с механическим встряхиванием наиболее интенсивно изнашиваются детали механизма встряхивания: рычаги переключения, кулачки, ролики, тяги, рамы подвеса рукавов, коромысла, а также шнеки и пылевыгрузные устройства. Слабым местом подобных фильтров являются хомуты крепления рукавов. В процессе работы хомуты часто корродируют — наличие пленки коррозии вызывает дополнительный износ ткани. На ряде заводов отмечено, что межсекционные перегородки не выдерживают перепада давлений, поэтому их рекомендуют усиливать.

В фильтрах УРФМ-2 и УРФМ-3 отказывают в основном пневмодиллиндры (манжеты) и соединения штока цилиндра с клапаном и рамой подвеса рукавов. В фильтрах УРФМ-2 из-за недостаточной жесткости разрушаются межсекционные перегородки, изготовленные из листа толщиной 1,5 мм. Хомуты крепления рукавов служат не более года. Для

фильтров РФСП характерен выход из строя (заклинивание) клапанов подачи продувочного воздуха, роликов привода кареток. В фильтрах СМЦ-101 часто выходят из строя механизмы встряхивания, пневмочилндры управления клапанами; слабым местом в конструкции фильтров СМЦ-166 являются клапаны продувки типа СМВ и системы управления режимом регенерации рукавных фильтров. Отказы в работе фильтров ФРКИ и ФРКДИ происходят из-за забивания пылью перепускных отверстий клапанов, замыкания подводющих к электромагниту проводов, а также в результате потери упругости пружины, прижимающей грибок к седлу выхлопной трубы. Не всегда плотно проваривается шов, разделяющий камеры запыленного и чистого газа. Резиновые прокладки под крышки фильтров не фиксируются и при установке выпадают. При эксплуатации обращается внимание на необходимость повышения надежности приборов управления регенерации, особенно типа ПУРФ. По аппаратам ФРКДИ отмечается выход из строя промежуточного подшипника встроенного шнека. Наличие острых кромок на каркасах может быть причиной преждевременного выхода из строя рукавов. Поэтому Семибратовским филиалом НИИОгаза модернизирован и введен в серийный конструкции ряд узлов фильтров ФРКИ и ФРКДИ. В частности, разработана мембрана с синтетическим кордом, реконструирован продувочный клапан таким образом, что в нем отсутствуют переточные каналы малого диаметра. НИИОгазом создан усовершенствованный вариант ПУРФ модификации 1М. Срок службы рукавов фильтров зависит от многих факторов. Так, в цветной металлургии в фильтрах РФГ и УРФМ этот срок составляет 3—12 мес при остаточной запыленности до 110 мг/м³, в цементной промышленности (в фильтрах СМЦ-166, СМЦ-100, МФУ, ФВК, РФГ) 4—12 мес, но при остаточной запыленности до 600 мг/м³, причем наименьший срок типичен для фильтров с механическим встряхиванием типа РФГ (3—6 мес). Долговечность рукавов в фильтрах ФР-250, ФР-518. ФР-5000 составляет 8—12 мес. В фильтрах с поэлементной струйной продувкой типа РФСП применяемый двухслойный лавсан служит около одного года. В фильтрах ФРКИ и ФРКДИ в среднем рукава изнашиваются за 1,5—2 года; в условиях повышенных температур и концентрации пыли они выходят из строя через 8—12 мес. Опыт эксплуатации показывает, что в фильтрах с обратной продувкой рукава имеют больший срок службы, чем в аппаратах с встряхиванием или импульсной продувкой. Это связано с более низкими скоростями, меньшим перепадом давления и более «нежным» воздействием на рукав при методе обратной продувки. При надлежащем уходе срок службы нередко достигает трех лет, на отдельных установках 4—5 лет. При импульсной продувке рукавов из стекловолокна максимальный срок службы равен двум годам. При высокой выходной концентрации пыли он уменьшается, так как для поддержания достаточно низкого перепада давления нередко требуется практически непрерывная регенерация.

Преждевременный разрыв рукава может быть вызван слабым или сильным натяжением. При слабом натяжении рукавов разрушение от изгиба происходит вследствие перегиба в нижней части рукава.

Недостаточное натяжение может также приводить к касанию рукавов друг с другом, что мешает сбрасыванию пыли в бункер во время обратной продувки. Повторный унос уловленной пыли приводит к увеличению перепада давления и, как следствие, — к продавливанию пыли через ткань, что увеличивает унос. Абразивное трение соседних провисших рукавов друг о друга может приводить к их разрушению. Этот недостаток можно исправить путем правильного размещения распорных колец вдоль рукава. Установлено, что неодинаковое расстояние между кольцами обеспечивает более равномерный изгиб ткани по длине ру-

кава, в результате чего уменьшается вероятность локализованного разрушения от изгиба, особенно в нижней части рукава. Кроме того, чтобы кольца не сокращали срока службы рукавов, их защищают с обеих сторон не менее чем двумя слоями ткани, которые должны быть плотными и прижаты к кольцам для уменьшения их абразивного износа; для повышения стойкости к коррозии рекомендуется применять кадмированные кольца из мягкой стали.

Рекомендуемое натяжение рукава в среднем составляет около 4 кг/100 мм окружности, т. е. 15 кг для рукава диаметром 130 мм. При этом следует учитывать длину и массу рукава, а также массу слоя при его максимальной толщине. Условием хорошо спроектированной системы обратной продувки является возможность медленной подачи давления в секцию после регенерации, что защищает рукава от резкого раздувания или толчка. Постепенная подача давления достигается благодаря использованию тарельчатых клапанов либо с помощью ограничивающих расход приспособлений в одном из выпускных клапанов. Наибольшая турбулентность газового потока наблюдается на входе в рукав на уровне трубной решетки. Обычно стальной стакан, длина которого равна диаметру рукава, устанавливается для обеспечения того, чтобы поступающий газ изменил направление движения от почти горизонтального до вертикального и чтобы успел сформироваться пограничный слой до того, как поток соприкоснется с тканью рукава. В идеальном случае это должно исключить какие-либо вибрации (и, следовательно, чрезмерный износ рукава) в его нижней части. Кроме того, разработаны стаканы без хомутов для уменьшения повреждения рукавов во время монтажа и для ускорения последнего. Однако в отсутствие хомутов возникает опасность нарушения герметизации, вызванного либо неправильной подгонкой рукава, либо постепенным снижением его натяжения во время работы.

При приемке новых рукавных фильтров проводят следующие работы: осматривают корпус фильтра и всю систему газоходов для выявления поломок и повреждений; контролируют направление вращения валов всех двигателей, служащих приводами для вентиляторов, транспортеров, механизмов системы регенерации и разгружающих устройств; смазывают все вращающиеся части приводимого от двигателей оборудования: редукторов, коленчатых рычагов и шарнирных соединений; монтируют все трубопроводы сети сжатого воздуха и проверяют их на утечку. Для этого подают воздух под полным давлением, закрывают клапаны подачи воздуха и наблюдают за показаниями дифференциального манометра; проверяют действие программных регуляторов, управляющих работой механизмов регенерации. При этом шиберы обратной продувки должны перемещаться свободно и иметь плотную посадку. Операции открывания и закрывания шиберов между камерами должны производиться через заданные промежутки времени. Проверяют работу соединительных элементов встряхивающих механизмов и длительность периода встряхивания, а также последовательность срабатывания соединительных клапанов и установку их на рекомендуемое время отключения.

При эксплуатации фильтра корпус аппарата рекомендуется открывать для осмотра через определенные промежутки времени (не реже одного раза в неделю). При осмотре проверяют: наличие на рукавах слоя пыли, который не удаляется при регенерации; степень замазывания фильтровального материала влажной пылью; образование на поверхности материала твердых отложений, свидетельствующих о конденсации влаги; равномерность толщины пылевого слоя вдоль длины рукава; состояние фильтровального материала (наличие мелких отверстий, разрывов, износа на отдельных участках ткани вследствие трения или из-

гиба и т. д.). Внутренность фильтра осматривается для выявления пылевых отложений на стенках корпуса и бункера, особенно в углах и по краям, на направляющих пластинах напротив входа газа. После нескольких сотен часов работы из аппарата следует извлечь на выборку несколько рукавов и проверить их на воздухопроницаемость. Такому испытанию должны быть подвергнуты участки, вырезанные из верхней, центральной и нижней частей каждого рукава. Значения воздухопроницаемости сравнивают с исходными. Эти данные используются для оценки срока службы рукавов или для определения требуемой частоты их промывки или сухой очистки. Метод очистки рукавов подбирают опытным путем с учетом свойств материала и пыли. Очищенный рукав также должен быть проверен на воздухопроницаемость тем же способом, что и загрязненный.

Глава 4 ЭЛЕКТРОФИЛЬТРЫ

4.1. ОСНОВНЫЕ ПАРАМЕТРЫ ПРОЦЕССА ЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ ФИЛЬТРАЦИИ ГАЗОВ

Электрофильтры являются универсальными аппаратами для очистки промышленных газов от твердых и жидких частиц. К числу преимуществ электрофильтра относятся: высокая степень очистки, достигающая 99 %; низкие энергетические затраты на улавливание частиц, состоящие из потерь энергии на преодоление газодинамического сопротивления аппарата, не превышающего 150—200 Па, т. е. минимальные по сравнению с другими газоочистными аппаратами, и затрат энергии — обычно 0,3—1,8 МДж (0,1—0,5 кВт·ч) на 1000 м³ газа; возможность улавливания частиц размером 100—0,1 мкм и менее, при этом концентрация взвешенных частиц в газах может колебаться от долей до 50 г/м³ и более, а их температура может превышать 500 °С. Электрофильтры могут работать под давлением и разрежением, а также в условиях воздействия различных агрессивных сред. Современные электрогазоочистные установки возможно полностью автоматизировать.

К недостаткам электрофильтров относится высокая чувствительность процесса электрической фильтрации газов к отклонениям от заданных параметров технологического режима, а также к незначительным механическим дефектам в активной зоне аппарата.

Однако, несмотря на указанные недостатки, электрофильтры являются одним из распространенных, а иногда незаменимых аппаратов для очистки промышленных газов от твердых и жидких загрязняющих веществ, выделяющихся при различных технологических процессах, прежде всего больших объемов газа — порядка сотен тысяч и миллионов кубических метров газа в час.

Электрофильтры широко применяются почти во всех отраслях народного хозяйства: теплоэнергетике, черной и цветной металлургии, химии и нефтехимии, в строительной индустрии, при производстве удобрений и утилизации бытовых отходов, в атомной промышленности и др. Область применения электрофильтров непрерывно расширяется.

В СССР в электрофильтрах очищается более 50 % общего объема отходящих газов, в США количество применяемых электрофильтров распределяется по отраслям промышленности следующим образом:

теплоэнергетике 60 %, в производстве стали 10 %, в цветной металлургии 7 %, в производстве цемента 10 %, в химической промышленности 6 %, на предприятиях целлюлозно-бумажной промышленности 7 %.

Техника электрической фильтрации газов непрерывно развивается в направлении интенсификации процесса с целью уменьшения габаритов электрофильтров, повышения степени очистки при улавливании пылей с низкой электропроводностью, создания новых источников для питания электрофильтров.

Электрофильтры не применяются, если очищаемый газ является взрывоопасной смесью или такая смесь может образоваться в ходе процесса в результате отклонения от нормального технологического режима, так как при работе электрофильтра неизбежно возникновение искровых разрядов. В исключительных случаях электрофильтры все же устанавливаются в условиях возможного образования взрывоопасных сред, однако при этом предпринимаются особые меры предосторожности, включающие специальные конструктивные решения, автоматическое отключение агрегата питания при возникновении взрывоопасных концентраций среды и т. п.

Установка для электрической очистки газов состоит из электрофильтра, агрегатов питания и систем транспорта уловленной пыли (рис. 4.1). Собственно электрофильтр состоит из металлического корпуса с размещенными внутри него осадительными и коронирующими электродами. На входе в электрофильтр обычно устанавливается газораспределительное устройство, обеспечивающее равномерное распределение газов в активной зоне аппарата. Электрофильтр снабжается специальными устройствами для удаления уловленной пыли. Осадительные электроды выполняются из металлических пластин различной конфигурации или из труб круглого или шестиугольного сечения. Коронирующие электроды выполняются из круглой проволоки или из узких полос с выступающими острыми углами и др.

Сущность процесса электрической фильтрации газов заключается в следующем. Газ, содержащий взвешенные частицы, проходит через систему, состоящую из заземленных осадительных электродов и размещенных на некотором расстоянии (называемом межэлектродным промежутком) коронирующих электродов, к которым подводится выпрямленный электрический ток высокого напряжения (рис. 4.2). При достаточно большом напряжении, приложенном к межэлектродному промежутку, у поверхности коронирующего электрода происходит интенсивная ударная ионизация газа, сопровождающаяся возникновением коронного разряда (короны), который на весь межэлектродный промежуток не распространяется и затухает по мере уменьшения напряженности электрического поля в направлении осадительного электрода.

Газовые ионы различной полярности, образующиеся в зоне короны, под действием сил электрического поля движутся к разноименным электродам, вследствие чего в межэлектродном промежутке возникает электрический ток, называемый током короны. Улавливаемые частицы из-за адсорбции на их поверхности ионов приобретают в межэлектродном промежутке электрический заряд и под влиянием сил электрического поля движутся к электродам, осаждаясь на них. Основное количество частиц осаждается на развитой поверхности осадительных электродов, меньшая их часть попадает на коронирующие электроды. По мере накопления на электродах осажденные частицы удаляются встряхиванием или промывкой электродов.

Конструктивная схема электрофильтра представлена на рис. 4.3. Между двумя осадительными плоскостями натянут ряд проводов. В пространство между каждой из плоскостей и проводами подается газопылевой поток. В поле коронного разряда, возникающего при пода-

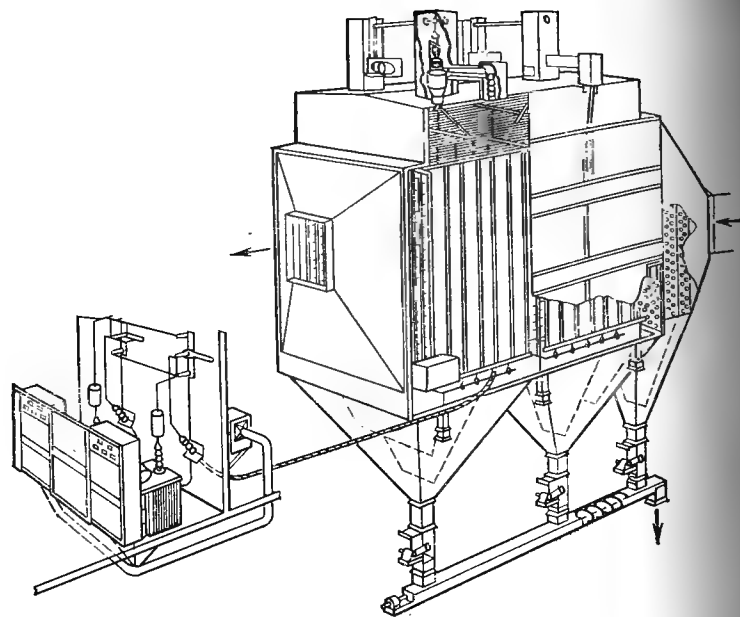


Рис. 4.1. Электрогазоочистная установка

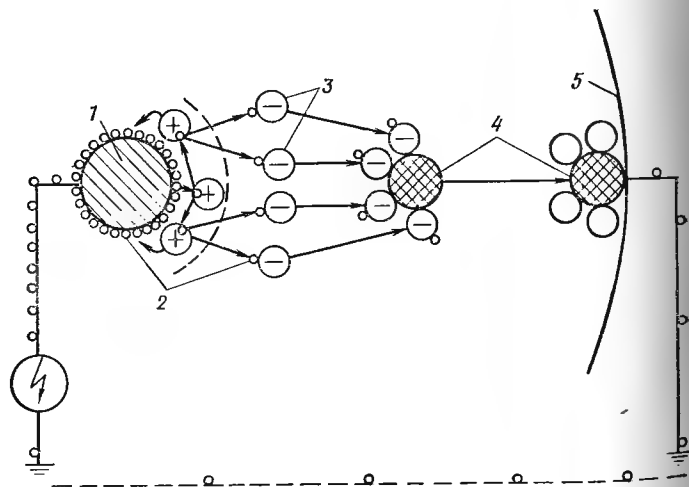


Рис. 4.2. Механизм зарядки и осаждения частиц в электрофилтре:

1 — коронирующий электрод; 2 — электроны; 3 — ионы; 4 — частицы пыли; 5 — осадительный электрод

те тока высокого напряжения на проводе, частицы заряжаются и под действием поля движутся к осадительным плоскостям, с которых они периодически удаляются. Таким образом, концентрация пыли в газе при прохождении его через активную зону электрофилтра значительно уменьшается. В трубчатых электрофилтрах удается получить более высокие значения рабочего напряжения, чем в пластинчатых. Вместе с тем в пластинчатых электрофилтрах проще решаются вопросы обеспыливания больших объемов газов в едином аппарате.

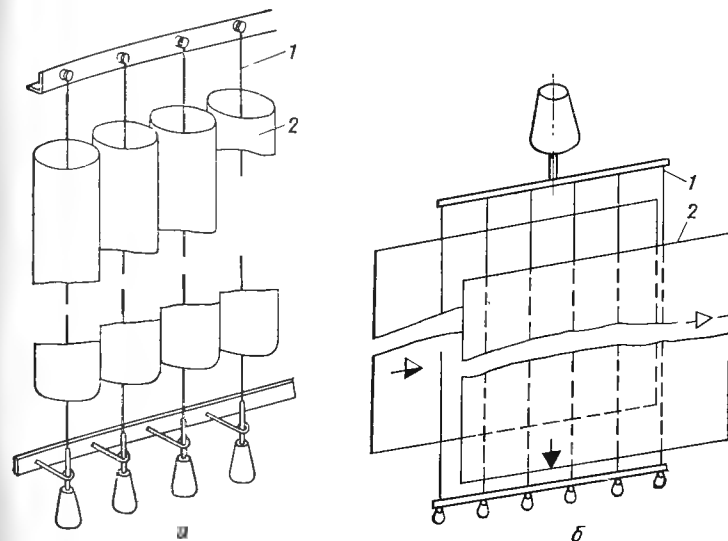


Рис. 4.3. Конструктивная схема электрофилтра:

а — электрофилтр с трубчатыми электродами; б — электрофилтр с пластинчатыми электродами; 1 — коронирующие электроды; 2 — осадительные электроды

К числу наиболее важных параметров, влияющих на эффективность работы электрофилтров, относятся напряженность электрического поля, движение частиц в электрическом поле, время пребывания частиц в активной зоне, удельное электрическое сопротивление слоя пыли на электродах, эффективность встряхивающих устройств, явления вторичного уноса частиц пыли и др. Процесс электрической фильтрации газов можно разделить на следующие стадии: зарядка взвешенных в газе частиц; движение заряженных частиц к электродам (подавляющая часть заряженных частиц движется к осадительным электродам); осаждение частиц на электродах; удаление осажденных частиц с электродов [17].

Зарядка частиц пыли в электрическом поле происходит в результате адсорбции ионов поверхностью частиц во внешней зоне коронного разряда. На эту зону приходится основная часть межэлектродного промежутка, в котором перемещается пылегазовый поток. Молекулы газа, ионы и электроны, находясь в непрерывном движении, сталкиваются с частицами, оседают на их поверхности, создавая определенный электрический заряд.

Зарядка частицы может происходить до тех пор, пока к ней присоединяются ионы. Но с увеличением времени зарядки и числа ионов, осевших на частице, возрастает напряженность поля, создаваемая заряжающейся частицей и направленная навстречу основному внешнему полю. В результате этого скорость движения очередных ионов уменьшается, т. е. уменьшается скорость зарядки частицы. Когда напряженность поля от заряженной частицы станет равна напряженности внешнего поля, скорость движения ионов к частице под действием внешнего поля упадет до нуля, т. е. частица перестанет получать новые ионы, перестанет заряжаться. В этот момент частица имеет предельный заряд.

При определении предельного заряда для диэлектрических частиц полагают, что избыточный заряд распределен по поверхности частицы равномерно, как на проводнике. Такое допущение справедливо, поскольку неравномерное распределение заряда по поверхности приводит к вращению частицы и выравниванию заряда. В этом случае формула для расчета кинетической энергии зарядки диэлектрических сферических частиц имеет вид

$$q_{\tau} = 3\pi\epsilon_0 d_{\text{ч}}^2 E \left(\frac{\epsilon}{\epsilon + 2} \right) \frac{enk_{\text{и}} \tau}{4\epsilon_0 + enk_{\text{и}} \tau},$$

где $k_{\text{и}}$ — подвижность ионов, $\text{м}^2/(\text{В} \cdot \text{с})$; ϵ — относительная диэлектрическая проницаемость вещества; n — число элементарных зарядов; ϵ_0 — диэлектрическая постоянная, $8,85 \cdot 10^{-12}$ Ф/м; τ — время, с; e — заряд частицы, эВ; E — напряженность электрического поля, кВ/см.

Если принять для концентрации ионов типичное для полей коронного разряда значение $k_{\text{и}} = 10^{14}$ ионов/ м^3 , то получим, что за время, равное 10^{-3} , 10^{-2} и 10^{-1} с, частица приобретает заряд, равный соответственно 8, 45 и 90 % своего предельного значения [24]. Для большинства промышленных пылей при обычных условиях коронного разряда в электрофильтрах более 99 % заряда приобретается частицами, подлежащими улавливанию, за 1 с.

Основные силы, действующие на заряженную частицу в электрофильтре, следующие: взаимодействие электрического поля и заряда частицы (кулоновская сила); сопротивление среды, обусловленное неравномерным распределением напряженности электрического поля, массы частицы, электрического ветра. Сила, обусловленная взаимодействием электрического поля и заряда частицы, является переменной величиной, так как напряженность электрического поля является функцией расстояния от коронирующих электродов. Во внешней области короны, где находятся отрицательные ионы, эта сила направлена к осадительному электроду. Поэтому основная часть заряженных частиц (все отрицательно заряженные частицы) движется в сторону осадительного электрода. Непосредственно в зоне короны некоторые частицы заряжаются положительно и двигаются к коронирующему электроду.

Движение частиц в электрофильтре. На частицы, находящиеся в пространстве между коронирующим и осадительным электродами электрофильтра, действует ряд сил, которые вызывают смещение частиц относительно газопылевого потока. К ним относятся: сила тяжести, сила сопротивления среды, электрическая сила, а также сила, обусловленная неравномерным распределением напряженности электрического поля $F_{\text{в}}$ (Н). Для сферической частицы с диэлектрической проницаемостью ϵ величина $F_{\text{в}}$ определяется по формуле [24]

$$F_{\text{в}} = \frac{\pi}{4} \epsilon_0 d_{\text{ч}}^3 \frac{\epsilon - 1}{\epsilon + 2} \text{grad } E^2.$$

Анализ сил, действующих на частицу при ее движении в электрофильтре, показывает, что основную роль играют сила, обусловленная действием электрического поля, и сила сопротивления среды. Поэтому в наиболее простом случае (установившегося движения сферической частицы в электрическом поле с постоянной напряженностью и применимости закона Стокса) установлено, что для крупных частиц скорость движения пропорциональна размеру частиц и квадрату напряженности поля. Для очень маленьких частиц основную роль играет диффузионная зарядка; скорость движения частиц возрастает с уменьшением их размера [24].

Осаждение заряженных частиц происходит в основном под действием кулоновских сил электрического поля. Однако на процесс осаждения влияет ряд факторов, одновременный точный учет которых невозможен. К таким факторам относятся физические свойства улавливаемых частиц (размер, проводимость, диэлектрическая проницаемость и др.), а также параметры электрофильтра (время пребывания газа в активной зоне, температура, влажность и химический состав газов и пыли, электрический режим питания аппарата, режим встряхивания электродов, вторичный унос, газораспределение). В результате одновременного осаждения многих частиц на всю поверхность электрода на нем образуется слой пыли с сопротивлением R , который будет разряжаться с постоянной времени τ .

В зависимости от удельного электрического сопротивления время разрядки слоя может меняться в широких пределах. Принято делить все пыли, улавливаемые в электрофильтрах, в зависимости от значения удельного электрического сопротивления (УЭС) на три группы (при этом имеется в виду УЭС слоя пыли, образующегося на осадительных электродах электрофильтра, а не УЭС материала, из которого образовалась пыль):

1-я группа пылей, образующих на осадительных электродах слой с УЭС не выше 10^4 Ом·м, — низкоомные пыли;

2-я группа пылей с УЭС 10^4 — 10^{10} Ом·м;

3-я группа пылей с УЭС выше 10^{10} Ом·м — высокоомные пыли.

Время разряда частиц пыли 1-й группы мало (практически мгновенно). Поэтому частицы пыли быстро перезаряжаются и под действием отталкивающей кулоновской силы могут вновь попасть в газовый поток. В этом случае на осадительных электродах не сможет образоваться сколько-нибудь значительный слой пыли и при встряхивании электродов не будут создаваться подходящие условия для образования агрегатов пыли таких размеров, чтобы они не уносились газовым потоком из аппарата, а попадали в бункер.

Время разряда частиц 2-й группы оказывается оптимальным для того, чтобы на осадительных электродах успел образоваться некоторый минимально необходимый слой пыли. Поэтому при встряхивании электродов образуются агрегаты пыли таких размеров, что пыль не уносится газовым потоком, а падает в бункер. Улавливание пылей этой группы (а их большинство) в практике электрогазоочистки никаких затруднений не вызывает.

Наибольшие трудности возникают при улавливании пылей 3-й группы. В этом случае на слое пыли будет иметь место падение напряжения, $V: U_{\text{сл}} = j\rho l$, где j — поверхностная плотность тока, $\text{А}/\text{м}^2$; ρ — УЭС слоя пыли, Ом·м; l — толщина слоя пыли на осадительном электроде, м.

Высокое удельное электрическое сопротивление слоя частиц, находящихся на осадительном электроде, приводит обычно к нарушению электрического режима работы электрофильтра, вызывая сильное искре-

ние, а при очень высоких удельных сопротивлениях (выше 10^{11} Ом·м) — к появлению мощного обратного коронного разряда. Причиной появления обратного разряда является электрический пробой слоя пыли на осадительном электроде при достижении некоторого критического значения напряженности электрического поля в слое. В результате пробоя в слое образуется тонкий канал, заполненный положительными ионами, которые двигаются в направлении коронирующих электродов и частично нейтрализуют отрицательный заряд частиц. Канал выполняет роль острия, с которого развивается коронный разряд навстречу основному коронному разряду. Электрическое поле в межэлектродном промежутке приобретает характер резко неоднородного поля с соответствующим снижением пробивного напряжения и увеличением тока короны. В результате снижения электрического заряда частиц и пробивного напряжения электрофильтра его эффективность резко снижается [40, 71].

Иногда при улавливании высокоомной пыли причиной ухудшения работы электрофильтра является значительное уменьшение токов короны за счет большого падения напряжения на слое пыли осадительного электрода. Одним из эффективных методов снижения УЭС высокоомных пылей для повышения к. п. д. электрофильтра является кондиционирование газов водой или различными химическими реагентами [2].

Унос пыли с осадительных электродов. При встряхивании электродов возможен отрыв осажженных крупных частиц с поверхности. Механизм уноса заключается в выбивании частиц осажженной пыли. Выбитые из слоя пыли частицы движутся вдоль осадительного электрода. Амплитуда максимального удаления частицы от электродов достигает 10 мм, максимальное перемещение — нескольких десятков миллиметров. В дальнейшем осажженная частица может быть выбита вновь и т. д. Таким образом, происходит перемещение массы пыли вдоль осадительного электрода, причем перемещающаяся пыль практически не перемешивается с основным потоком. Если выбивание частиц продолжается вдоль всей длины осадительных электродов электрофильтра, то это приводит к снижению степени очистки. Если же по каким-то причинам, например из-за полного улавливания крупных частиц в начальной части электрофильтра, выбивание прекращается, то унос при осаждении не должен приводить к уменьшению степени очистки и его можно не учитывать в расчетах. Приведенные материалы показывают, что уносом при осаждении можно пренебречь, если максимальный размер частиц на выходе электрофильтра меньше критического размера [36, 72].

Вольт-амперная характеристика короны в электрофильтре является одним из основных показателей работы аппарата. До возникновения в активной зоне электрофильтра коронного разряда электрическое поле является практически электростатическим. При увеличении рабочего напряжения до критического и возникновении коронного разряда между электродами начинается интенсивное движение зарядов, протекает ток короны. Вольт-амперная характеристика короны в значительной степени зависит от расстояния между разноименными электродами, формы и диаметра коронирующих электродов. На рис. 4.4 показана зависимость вольт-амперных характеристик короны электрофильтра от различных факторов.

В практике электрогазоочистки большое значение имеет напряженность появления короны, которая возникает при достижении критической или начальной напряженности электрического поля, которая, например, для воздуха при атмосферном давлении и температуре 20°C составляет около 15 кВ/см. Критическую напряженность электрического

поля, кВ/см, для трубчатого электрофильтра можно вычислить по формуле

$$E_0 = 30,36 \left(1 + \frac{0,298}{\sqrt{\delta R_1}} \right), \quad (4.1)$$

где R_1 — радиус коронирующего электрода; δ — относительная плотность воздуха [71]. Из (4.1) следует, что величина E_0 не зависит от формы и материала электрода. Критическое напряжение коронного разряда для системы, состоящей из трубчатого осадительного электрода и

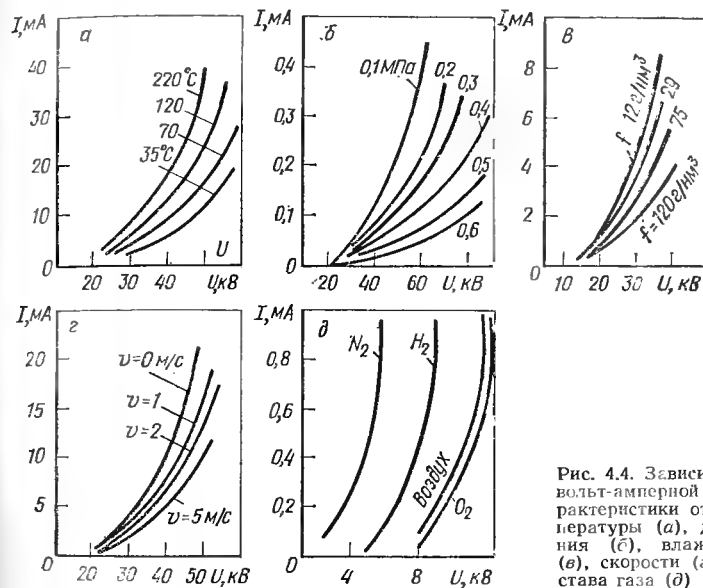


Рис. 4.4. Зависимость вольт-амперной характеристики от температуры (а), давления (б), влажности (в), скорости (д) состава газа (д)

гладкого проволочного коронирующего электрода (см. рис. 4.4), определяется формулой

$$U_0 = E_0 R_1 \ln \frac{R_2}{R_1}, \quad (4.2)$$

а для системы, состоящей из пластинчатых осадительных электродов и проволочных коронирующих электродов, — формулой

$$U_0 = E_0 R_1 \left(\frac{\pi H}{d} - \ln \frac{2\pi R_1}{d} \right), \quad (4.3)$$

где U_0 — критическое напряжение, В; E_0 — критическая напряженность электрического поля, В/г; R_1 — радиус коронирующего электрода, м; R_2 — радиус трубчатого осадительного электрода, м; H — расстояние между коронирующим электродом и пластинчатым осадительным электродом, м; d — расстояние между соседними коронирующими электродами в ряду, м.

Из приведенных формул видно, что с уменьшением радиуса коронирующего электрода R_1 критическое напряжение снижается, т. е. происходит более раннее зажигание короны, чем и объясняется использование тонкой проволоки, острых кромок и игл для создания коронного разряда. В промышленных электрофильтрах при обычно применяемых значениях $R_1 = 0,001 \div 0,002$ м; $R_2 = H = 0,1 \div 0,15$ м значение критического напряжения находится в пределах от 20 до 30 кВ.

Для электрической очистки газов используется, как правило, отрицательная корона, т. е. на коронирующий электрод подается отрицательное напряжение выпрямленного тока. Это объясняется большей подвижностью отрицательных ионов по сравнению с положительными, а также тем, что при отрицательной короне удается поддерживать более высокое напряжение без искрового пробоя между электродами.

В настоящее время в промышленности применяются два вида электрофильтров: однозонные электрофилтры, в которых зарядка и осаждение частиц осуществляются в одной зоне, используемые для очистки промышленных газов; двухзонные электрофилтры, в которых процессы зарядки и осаждения протекают в двух разных зонах — ионизаторе и осадителе, применяемые в основном для тонкой очистки воздуха в системах вентиляции и кондиционирования. Современный однозонный электрофилтр для очистки промышленных газов представляет собой газоплотный корпус, в котором размещаются системы электродов, а также устройства, обеспечивающие равномерное распределение газа по сечению аппарата и вывод из него уловленных частиц.

Рабочая часть электрофилтра, в которой под действием приложенного напряжения существует электрическое поле, с размещенными в ней осадительными и коронирующими электродами называется активной зоной или активным объемом электрофилтра (рис. 4.5). Активная зона электрофилтра разделяется на несколько электрических полей, через которые очищаемый газ проходит последовательно. Системы коронирующих электродов каждого поля электрически изолированы друг от друга и имеют самостоятельный токоподвод. В зависимости от количества полей электрофилтры бывают однополюсными или многополюсными.

Кроме деления на отдельные поля, электрофилтры в некоторых случаях разбиваются на параллельные по ходу газа камеры — секции. Это позволяет отключать секцию по газу в работающем аппарате, например, для встряхивания или промывки электродов или для производства ремонтных работ, обеспечивая пропуск газа с повышенной скоростью через неотключенную часть электрофилтра.

В технике электрической фильтрации газов используется следующая терминология:

активная высота электродов — высота коронирующих и осадительных электродов в пределах (гранцах) активной зоны;

активная длина поля — протяженность поля в направлении хода газа в пределах активной зоны. В вертикальных электрофильтрах активная длина поля совпадает с активной высотой электродов;

активная длина электрофилтра — сумма активных длин всех полей аппарата;

активное сечение — свободное сечение для прохода газа в активной зоне электрофилтра;

поверхность осаждения осадительных электродов — суммарная поверхность осадительных электродов в активной зоне электрофилтра;

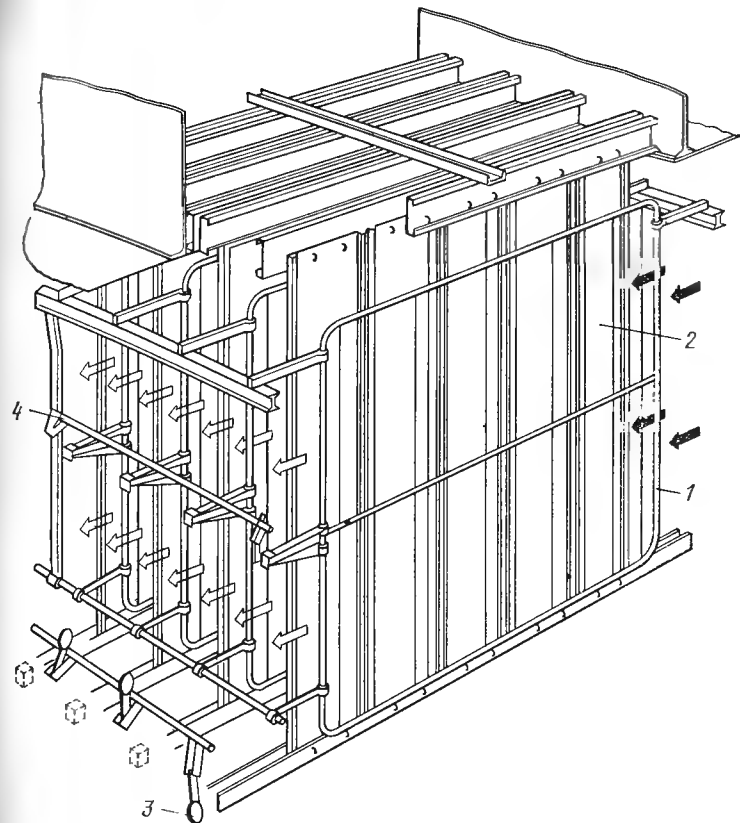


Рис. 4.5. Активная зона пластинчатого сухого горизонтального электрофилтра:

1 — коронирующие электроды; 2 — осадительные электроды; 3 — система встряхивания осадительных электродов; 4 — система встряхивания коронирующих электродов

активная длина коронирующих электродов — полная длина всех элементов коронирующих электродов в активной зоне.

В двухзонных электрофильтрах (рис. 4.6) зарядка улавливаемых частиц происходит в ионизаторе, где размещены коронирующие и осадительные электроды, а осаждение заряженных частиц осуществляется в осадителе, в электростатическом поле, образованном рядом параллельных пластин, среди которых попарно чередуются заземленные и находящиеся под напряжением пластины. В двухзонных электрофильтрах расстояние между разноименными электродами в ионизаторе и осадителе значительно меньше, чем в однозонных электрофильтрах, а напряжение, подаваемое на электроды, ниже.

Двухзонные электрофилтры применяются для очистки слабозапыленных потоков, например атмосферного воздуха в системах при-

точной вентиляции, обеспечивая при этом эффективное улавливание очень тонких частиц. В двухзонных электрофильтрах систем приточной вентиляции на коронирующие электроды ионизатора подается положительный заряд, так как количество озона, образующегося в зоне короны при положительной полярности короны, значительно меньше, чем при отрицательной.

В однозонных электрофильтрах с поперечным ходом газа (рис. 4.7) осадительные электроды устанавливаются поперек хода газового потока и представляют собой pronunciаемые для газа металлические перегородки (решетки, сетки и т. п.). Между осадительными электродами устанавливаются коронирующие. Процесс зарядки и осаждения частиц в электрическом поле в принципе аналогичен проходящему в обычном однозонном электрофильтре. Несмотря на большую эффективность по сравнению с обычными однозонными электрофильтрами, электрофильтры с поперечным ходом газа не нашли пока широкого применения в промышленности из-за конструктивной сложности.

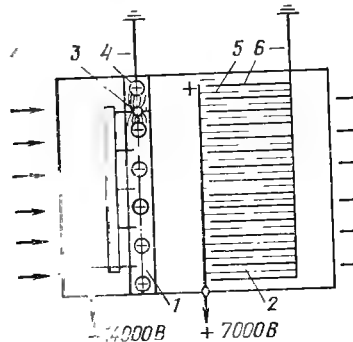


Рис. 4.6. Принципиальная схема двухзонного электрофильтра:
1 — ионизатор; 2 — осадитель; 3 — электроды ионизатора положительной полярности (коронирующие); 4 — электроды ионизатора отрицательной полярности (заземленные); 5 — электроды осадителя положительной полярности; 6 — электроды осадителя отрицательной полярности

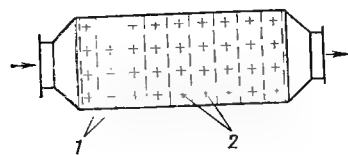


Рис. 4.7. Схема электрофильтра с поперечным ходом газа:
1 — коронирующие электроды; 2 — осадительные электроды

Производство огнеупорных материалов) состоит из пластинчатых аппаратов [73, 74]. Наличие нескольких последовательных полей в электрофильтре улучшает условия улавливания частиц из-за возможности дифференциации электрического режима и режима встряхивания электродов по полям [75]. Эти аппараты проще в изготовлении и надежнее в эксплуатации.

Вертикальные электрофильтры в большинстве своем являются однополюсными, что значительно ограничивает их применение для сухого пылеулавливания из-за относительно низкой эффективности. Вертикальные многополюсные аппараты редко применяются из-за кон-

струкционной сложности. Вертикальные электрофильтры в основном применяются в случае ограниченной промышленной площадки.

В трубчатых электрофильтрах подлежащие очистке газы проходят через трубчатые осадительные электроды снизу вверх. По осям труб расположены коронирующие электроды. Осадительные трубы заключаются в общий каркас или сплошной корпус. В подавляющем большинстве случаев трубчатые электрофильтры применяются для улавливания жидких компонентов.

Рассматривая преимущества и недостатки пластинчатых и трубчатых аппаратов, следует отметить, что распределение газа в трубчатых аппаратах происходит равномернее, чем в пластинчатых, кроме того, трубчатый электрод позволяет поддерживать в нем более высокие электрические нагрузки. Отсюда следует, что в трубчатом электрофильтре применяются большие скорости газа, чем в пластинчатых аппаратах. Однако здесь возникают трудности при очистке внутренней поверхности труб от уловленного продукта. Кроме того, при мокром способе очистки сложно организовать равномерное стекание жидкости по всему сечению трубы. Возникающие струи снижают пробивную прочность разрядного промежутка, и эффективность работы фильтра снижается. Встряхивание труб (при сухом улавливании) из-за сложности конструктивного решения практически не применяется. Поэтому даже при улавливании в мокрых электрофильтрах твердых частиц они смыываются с поверхности электродов орошаемой жидкостью. При этом температура газа, поступающего в мокрый электрофильтр, должна быть близкой к точке росы или равна ей. Кроме того, мокрые электрофильтры применяются для улавливания жидких частиц — тумана или капельной влаги из газового потока, причем специальные устройства для промывки могут отсутствовать, если жидкие частицы самостоятельно стекают с электродов по мере их накопления.

Основными конструктивными элементами электрофильтров являются: корпус, где размещаются системы осадительных и коронирующих электродов; узлы подвода, распределения и отвода очищаемых газов; электродная система; изоляторные коробки для подвеса коронирующей системы и ввода в электрофильтр тока высокого напряжения; системы очистки электродов [24].

Корпус и газораспределительные устройства электрофильтров

Корпус пластинчатого электрофильтра (рис. 4.8) представляет собой прямоугольную камеру, выполненную в виде П-образных рам, состоящих из сварных ригелей крыши корпуса, несущих на себе основные элементы оборудования, и стоек в виде сварных конструкций или прокатных швеллеров. В конструкции корпуса опорный пояс и несущие стойки с ригелями являются каркасом, воспринимающим массу внутреннего оборудования, массу осажденной на электродах пыли и ветровые нагрузки. Снизу к опорному поясу приварены бункера, а сверху установлены боковые стенки из металлического листа с горизонтальными ребрами. Между поперечными балками предусмотрены монтажные проемы, через которые производится загрузка внутреннего оборудования.

Конструкции корпусов позволяют вести загрузку и монтаж оборудования не только сверху, но и сбоку при неустановленных боковых стенках, что особенно важно для электрофильтров с электродами высотой 12 м [71]. Корпуса электрофильтров снаружи покрывают слоем теплоизоляции, которая предупреждает появление температур-

ных деформаций и препятствует конденсации влаги на внутренних стенках корпуса.

При отсутствии специальных газораспределительных устройств пылегазовый поток после входа в аппарат имеет почти такое же малое поперечное сечение, как и на входе. Возникает узкая свободная струя, расширение которой происходит только постепенно (примерно под центральным углом 20°), и требуется относительно большая протяженность аппарата для раздачи потока по всему сечению рабочей камеры электрофилтра. Поэтому разработаны способы подвода газопылевого потока к электрофилтру (рис. 4.9).

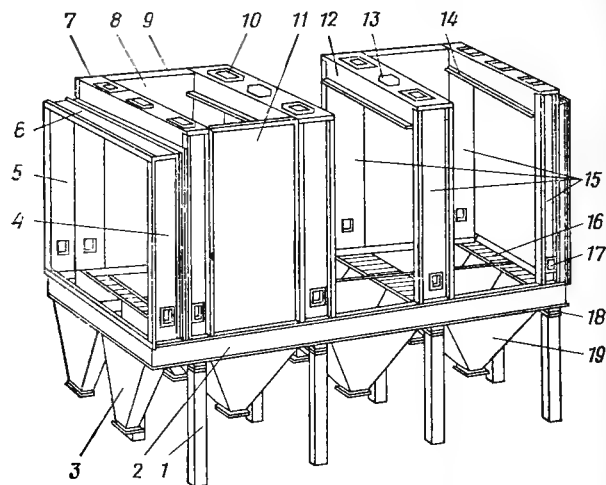


Рис. 4.8. Корпус пластинчатого горизонтального электрофилтра:

1 — колонна постаamenta; 2 — опорный пояс корпуса; 3 — бункер форкамеры; 4 — правая стенка форкамеры; 5 — левая стенка форкамеры; 6 — крышка форкамеры; 7 — балка крышки корпуса; 8 — монтажный проем; 9 — стенка левая; 10 — утопленная изоляционная коробка; 11 — стенка правая; 12 — балка крышки корпуса; 13 — горловина люка обслуживания; 14 — опорный карниз для установки осадительных электродов; 15 — стойки корпуса; 16 — площадки обслуживания; 17 — горловина люка обслуживания; 18 — скользящая опора корпуса; 19 — бункера электрофилтра

Газораспределительное устройство состоит из системы решеток, перед которыми часто устанавливаются направляющие лопатки. Газораспределительные решетки вертикальных электрофилтров для предотвращения на них отложений в ряде случаев выполняются щелевыми из элементов уголкового профиля.

Обычно газораспределительные устройства предусматриваются в конструкции электрофилтра и поставляются в комплекте с внутренним оборудованием. Однако на равномерность распределения газа большое влияние оказывают условия подвода газа к аппарату. Поэтому при проектировании установок электрофилтров предусматривается, чтобы подводящие участки газоходов обеспечивали в совокупности с внутренней системой газораспределения электрофилтра условия равномерной раздачи газа по сечению аппарата. В случае необходимости в подводящих газоходах устанавливаются дополнительные газораспре-

делительные устройства. Рекомендации по расчету и выбору газораспределительных устройств и подводящих участков приведены в работе [76].

Для сложных случаев, когда расчет систем затруднен и в установке применяется параллельно несколько электрофилтров, конструкция газораспределительных устройств для создания равномерного поля скоростей между соседними электрофилтрами и внутри каждого из них определяется аэродинамическим моделированием системы. Для обеспечения высокой эффективности улавливания в электрофилтрах важное значение имеет предотвращение проскока неочи-

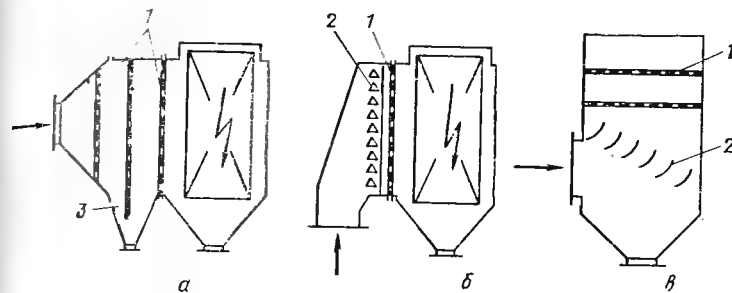


Рис. 4.9. Схемы газораспределительных устройств:

а — центральный подвод газа в горизонтальном электрофилтре; б — подвод газа снизу в горизонтальном электрофилтре; в — боковой подвод; 1 — газораспределительная решетка; 2 — лопатки; 3 — бункер форкамеры

щенного газа через неактивные зоны. В горизонтальных электрофилтрах такими зонами являются полости над электродной системой и под ней (включая пылесборные бункера), а также промежутки между крайними осадительными электродами и корпусом. В вертикальных пластинчатых электрофилтрах неактивные зоны образуются в промежутках между крайними электродами (осадительными и коронирующими) и корпусом. Только в трубчатых электрофилтрах неактивные зоны могут быть исключены полностью, что позволяет добиться в них высокой эффективности улавливания.

Эффективность электрофилтра достигает 98—99,5 %, поэтому проскок даже нескольких процентов неочищенного газа значительно влияет на общую эффективность работы аппарата. Вместе с тем заполнить глухое перекрытие неактивных зон в пластинчатых электрофилтрах не представляется возможным в связи со спецификой конструкции электрофилтра — необходимостью соблюдения пробойных промежутков и сохранения зазоров между электродами и корпусом для нормального встряхивания и осуществления центровки. Поэтому для горизонтальных электрофилтров одной из важных задач является предотвращение протекания газов вне активной зоны филтра поверх осадительных электродов или по бункерам.

Для оптимального использования активной зоны электрофилтра при сохранении его высокой эффективности неравномерность распределения пылегазового потока должна быть не выше 0,5 %. При перетоке газов по бункерам они могут выносить из бункеров золу или пыль более высокой концентрации, чем концентрация частиц в неочищенных газах, так как при ссыпании уловленной пыли с электродов в

бункер часть ее подхватывается газам. Установлено, что проскок газов через бункер снижал эффективность работы электрофильтра с 98 до 95 % [24].

Для организации равномерного распределения газа по всему сечению электрофильтра и предотвращения перетоков его вне активной зоны современные электрофильтры снабжаются специальными газораспределительными устройствами. Газораспределительная решетка устанавливается перед активной частью электрофильтра (электродами) и собирается из перфорированных листов с живым сечением 35—45 %. В случае установки двух решеток одна из них размещается непосредственно в подводящем газоходе или в форкамере.

По высоте газораспределительная решетка состоит из двух ярусов листов, а по ширине — из ряда полотен, количество последних определяется шириной электрофильтров. С целью предотвращения залипания решеток пылью они часто снабжаются механизмами встряхивания. На рис. 4.10 показан корпус современного высокопроизводительного сухого горизонтального многопольного электрофильтра типа ЭГА.

Бункера электрофильтров служат для накопления уловленной пыли. Число бункеров определяют по производительности аппарата. Однако для удобства монтажа и эксплуатации электрофильтра, как правило, каждое поле снабжают бункером. При наличии форкамеры электрофильтр оборудуют дополнительным бункером. Конструкцию бункера выбирают в зависимости от свойств улавливаемой пыли.

Свойства накопленной пыли значительно изменяются в зависимости от времени пребывания ее в бункере. Свежеуловленная пыль сохраняет электрический заряд и ведет себя почти как жидкость, а ее объемная масса составляет 98—128 кг/м³ по сравнению с 1120 кг/м³ и более для слежавшейся пыли. Угол естественного откоса свежеуловленной пыли в бункерах фактически равен нулю, а через несколько часов он может достигать 90°. Поэтому пыль из бункеров рекомендуется выгружать периодически. Непрерывное удаление пыли приводит к появлению больших подсосов воздуха через неплотности, в результате чего снижается к.п.д. электрофильтра [2, 17].

Текущесть пыли определяется также ее температурой, так как влажность газа, в котором взвешена пыль, относительно высокая, в результате чего пыль при снижении температуры становится липкой. Поэтому бункера теплоизолируют, а в некоторых случаях нижнюю часть бункера дополнительно обогревают во избежание больших потерь тепла.

В отдельных случаях, когда пыль склонна к налипанию, по требованию заказчика бункера оборудуют маятниковыми вибраторами. Вибратор закрепляют на маятниковой подвеске, установленной на стенке бункера (рис. 4.11). Усилие от вибратора передается через шток раме, подвешенной в нижней части бункера на шарнирах. Вдоль стенок бункера размещены прутки, нижние части которых входят в пазы рамы. При включении вибратора прутки получают колебательное движение и разрушают своды пыли на стенках бункера. Вибрационное отряхивание бункеров рассчитано на периодическое включение (продолжительность рабочего цикла не более 20 с, интервал около 5 мин). Оптимальный цикл работы системы определяют на месте в зависимости от свойств пыли.

В некоторых случаях для предохранения конструкций от вредных вибрационных нагрузок применяют накладные вибропробудители на упругих элементах (рис. 4.12). Виброплита состоит из металлического листа 1, склепанного по периметру заклепками с двумя слоями конвейерной ленты 2, и металлической планки. Для уменьшения действия вибрации плиты на стенку бункера под лист подкладывают 2—3 слоя

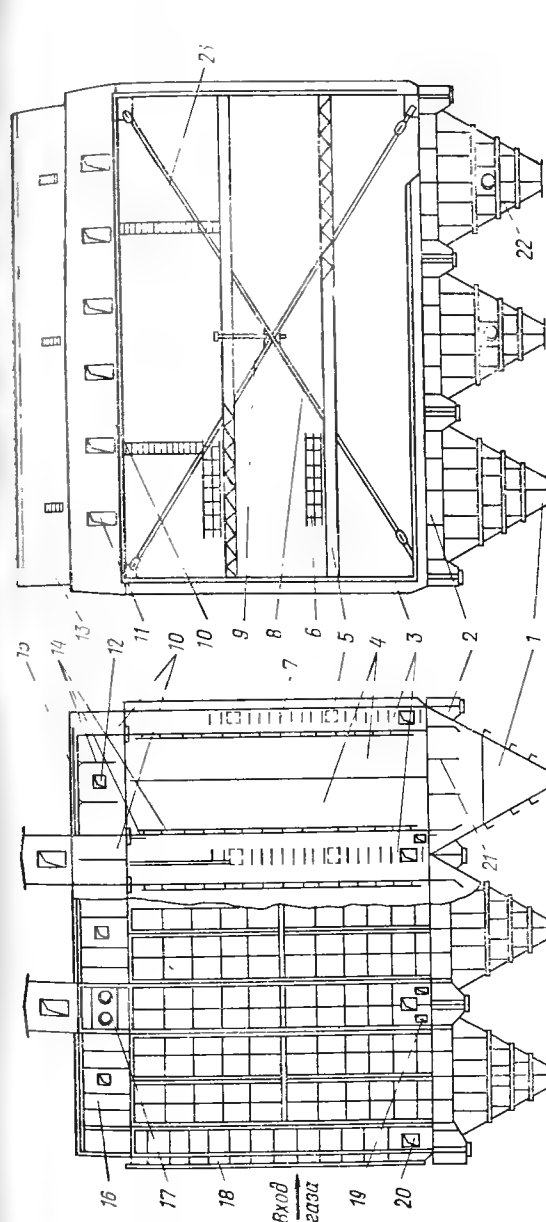


Рис. 4.10. Корпус электрофильтра типа ЭГА:

1 — бункер; 2 — опорный пояс; 3 — несущие стойки корпуса; 4 — стенка; 5 — внутренние площадки; 6 — ограждение на крайних площадках; 7 — опоры на стенках корпуса; 8 — крестовые связи; 9 — растажка; 10 — несущие балки крыши; 11 — проемы дверей изоляционных коробов; 12 — проемы люков обслуживания надпольного пространства; 13 — укрытие привода; 14 — верхние вертикальные газотокскальные листы; 15 — крыша монтажного проема; 16 — верхние стенки; 17 — отверстия для подвода тока высокого напряжения; 18 — фланцы корпуса; 19 — проемы под входные валы; 20 — проемы люков обслуживания; 21 — газотокскальные листы в бункерах; 22 — проемы люков обслуживания бункеров; 23 — лестница

микропористой резины 3. Подготовленная таким образом конструкция крепится болтами 4 к стенке бункера. Для предохранения от попадания под виброплиту пыли над ней устанавливают козырек 5 из тонколистовой стали. Вибратор 6 крепится обычным способом к листу, приваренному к плите. При образовании свода включают вибратор и плите сообщается колебательное движение, которое приводит в движение слой пыли.

Для бункеров, имеющих коническое днище с разгрузочным каналом щелевидной формы, применяется вибропобудитель, смонтированный в конической части бункера 1 в виде укрепленного на общей

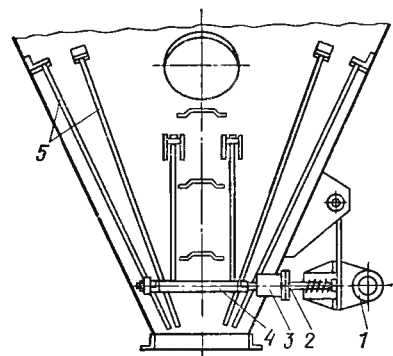


Рис. 4.11. Схема установки вибратора на бункере электрофильтра:

1 — вибратор; 2 — шток; 3 — сальниковое уплотнение; 4 — рама; 5 — прутки

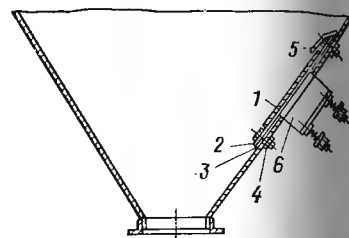


Рис. 4.12. Накладной вибропобудитель

вибрирующей траверсе 2 гребня с вертикально расположенными параллельными пластинами 6, имеющими высоту, равную высоте конуса (рис. 4.13). Пластиновый гребень штоком 3 соединен с одним концом коромысла 4 маятникового вибратора 7 и поддресорен пружиной опорой 8. Другой конец коромысла расположен в шарнирно-амортизирующей опоре 5. От вибратора к гребню поступают колебания, амплитуда которых равна половине величины на вибраторе. Частота колебаний равна частоте вращения вала электродвигателя. Вертикально вибрирующие пластины способствуют сводообразованию. Следует отметить, что вибратор должен работать только при открытом выходном отверстии бункера. Вибропобудитель следует располагать только в зоне эффективного движения материала, так как вибрация неподвижного материала приведет к его уплотнению.

Осадительные электроды должны иметь гладкую поверхность (без острых углов) и полости, позволяющие встряхивать осевшую на них пыль. Гладкая поверхность осадительных электродов позволяет создавать повышенную напряженность поля. При наличии острых углов и кромок рабочее напряжение электрофильтра значительно снижается. Гладкие плоские электроды просты в изготовлении, хорошо очищаются от пыли.

Конструкция электрода наряду с высокими электрическими показателями должна обеспечивать минимальный вторичный унос и обладать достаточной механической прочностью, обеспечивающей на-

дежную работу в условиях повышенных температур и сильных вибраций, и иметь профиль, не создающий вредных перетоков газа около электрода. Один из основных недостатков плоских электродов — резкое повышение вторичного уноса при увеличении скорости выше 1 м/с. Поэтому плоские осадительные электроды в сухих электрофильтрах применяют при скорости газа не более 0,6—0,8 м/с [24].

Для снижения габаритов и стоимости электрофильтра при одновременном увеличении эффективности аппарата разработаны несколь-

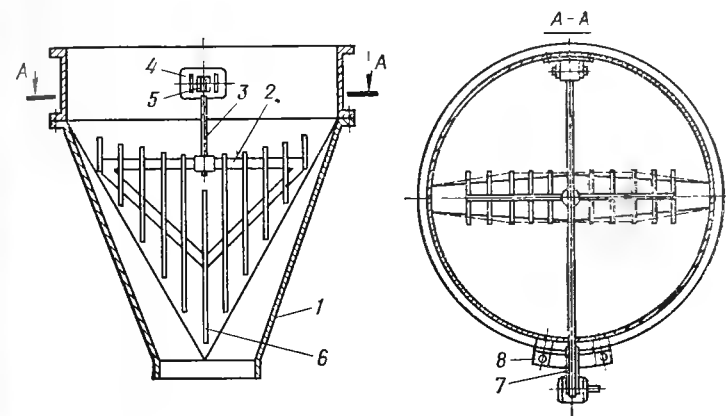


Рис. 4.13. Подвесной вибропобудитель с гребнями

ко типов фигурных осадительных электродов. В мировой практике нашли применение много различных конструкций осадительных электродов (рис. 4.14). В СССР наиболее распространенными электродами являются карманные (электрофильтры ДГП), желобчатые (электрофильтры ПГД), прутковые (электрофильтры ГПК), волнистые (электрофильтры Ц), С-образные (электрофильтры ПГДС, УГ, ЭГА). В зависимости от конструкций электродов и типа электрофильтра расстояние между одноименными электродами может колебаться в пределах 100—600 мм; во всех случаях коронирующие электроды располагаются строго посередине между пластинами.

Электроды желобчатые (рис. 4.14, в) представляют собой желоба сложного профиля, установленные в жесткой раме наклонно под углом около 7°. К недостаткам таких электродов относятся трудоемкость изготовления и недостаточная механическая прочность.

Электроды коробчатые имеют внутренние полости для вывода уловленной пыли и выполняются в виде коробки, наружные стенки которой, обращенные к коронирующим электродам, снабжены отверстиями различной конфигурации. Наиболее широко из электродов этого типа в горизонтальных электрофильтрах применялись перфорированный электрод (рис. 4.14, д) с круглыми отверстиями и карманный электрод (рис. 4.14, з) с выштампованными навстречу газовому потоку под углом 40° карманами. В вертикальных электрофильтрах используются так называемые тюльпанные электроды (рис. 4.14, и).

Условием эффективной работы электрофильтров с коробчатыми электродами является попадание уловленной пыли во внутреннюю полость при встряхивании электрода и вывод ее из газового потока,

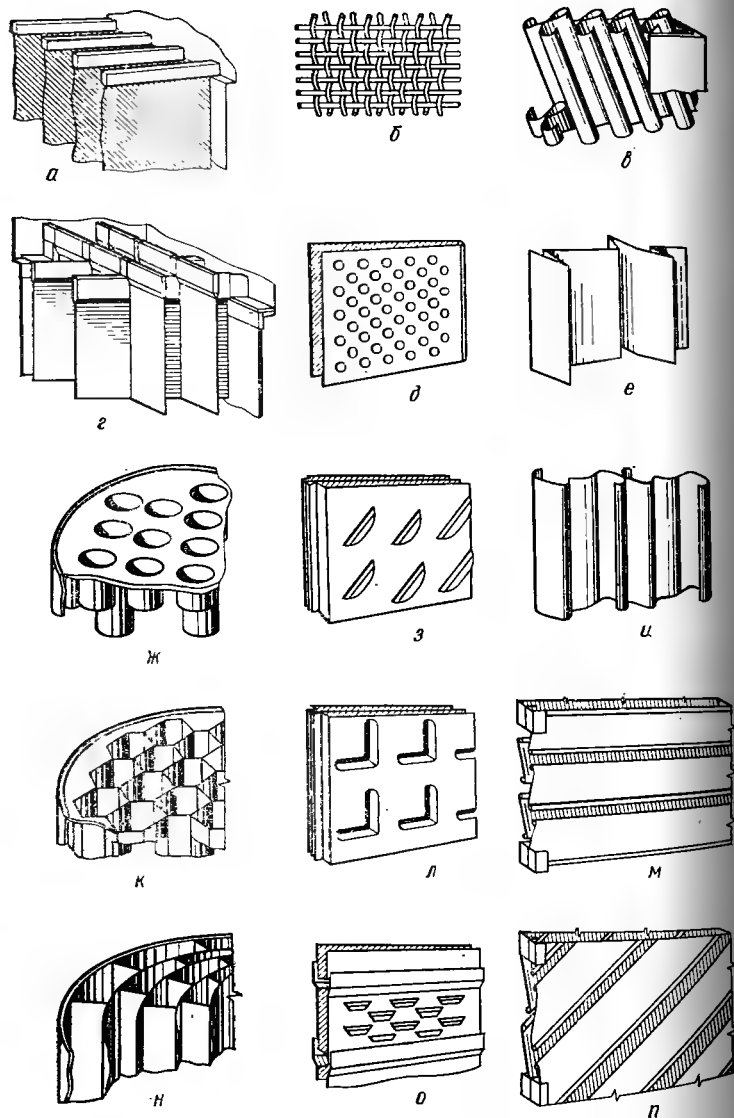


Рис. 4.14

за счет чего должен значительно снижаться вторичный унос. Однако это условие часто не осуществляется из-за замазывания осаждаемой пылью отверстий, в результате чего основная масса пыли при встряхивании сбрасывается в межэлектродное пространство.

Существенным недостатком коробчатых электродов является их высокая металлоемкость и сложность изготовления. Кроме того, наличие выступов на внешней части электродов вызывает уменьшение рабочего напряжения электрофильтра и снижение эффективности улавливания, что особенно характерно для карманных электродов. В связи с этим при разработке электрофильтров новейших конструкций коробчатые электроды заменяются более легкими желобчатыми электродами и электродами открытого профиля.

Электроды трубчатые (рис. 4.14, ж, и, к) чаще всего выполняются из стальных труб круглого сечения, а в случае применения мокрых электрофильтров для коррозионно активных сред используются трубы из других материалов (винилпласта, полипропилена, чугуна и др.). При использовании труб из непроводящих материалов работа аппарата обеспечивается наличием на поверхности электрода осаждаемой пленки проводящей жидкости. Для обеспечения проводимости в сухих электрофильтрах из полимерных материалов осадительные электроды изготавливаются из полипропилена с добавкой в определенной пропорции сажи, обладающей хорошей проводимостью. Применение такого материала дает экономию 15 т свинца на один аппарат [73]. Недостатком электрофильтров с трубчатым электродом круглого сечения является неудовлетворительное использование объема аппарата и большая металлоемкость системы электродов.

Сотовый осадительный электрод, состоящий из правильных шестигранников, позволяет использовать весь объем электрофильтра и облегчить систему электродов. Однако сложность изготовления сотовых электродов значительно сокращает область их применения, и в настоящее время они используются только в электрофильтрах сернокислотного производства, выполняемых из свинца.

Электроды открытого профиля (рис. 4.14, р) получили в настоящее время наибольшее применение в горизонтальных сухих электрофильтрах. Электроды состоят из вертикальных профилированных элементов, скрепленных поперечными полосами сверху и снизу. Элементы обычно имеют корытообразную форму с фигурными бортами, а при большой ширине состоят из нескольких объединенных корытообразных профилей. Такая форма сечения элементов обеспечивает наибольшую жесткость при минимальной металлоемкости, наличие зоны аэродинамической тени снижает вторичный унос и позволяет использовать электроды открытого профиля в электрофильтрах при скоростях газа до 1,7 м/с. Элементы изготавливаются холодной прокаткой из стальной ленты толщиной 0,8—1,5 мм, что обеспечивает их высокую экономичность.

По сравнению с другими типами электродов они выгодно отличаются пониженной металлоемкостью, имеют высокие аэродинамические характеристики, хорошо встряхиваются. Важным преимуществом электрода открытого профиля является равномерное распределение осаждаемой пыли по его поверхности по сравнению с карманным или перфорированным электродом (рис. 4.15). Удельная масса электрода в 3 раза меньше,

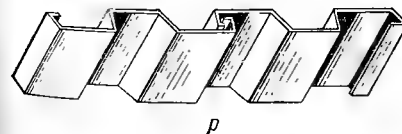
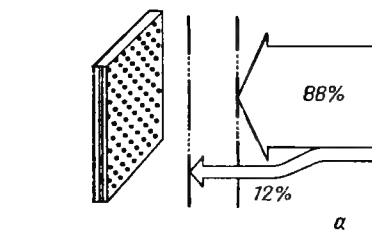
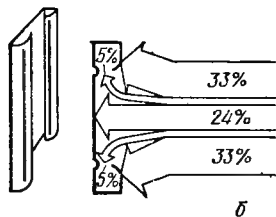


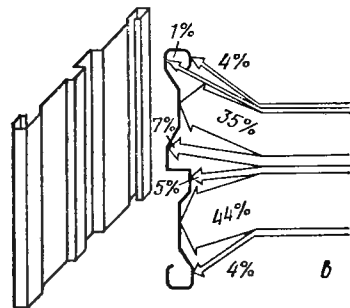
Рис. 4.14. Осадительные электроды электрофильтров



а



б



в

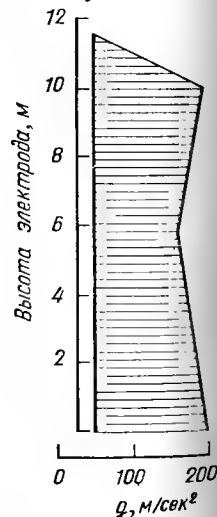
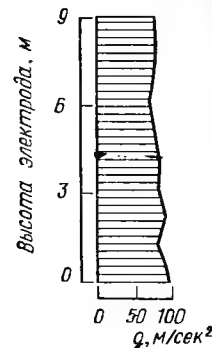
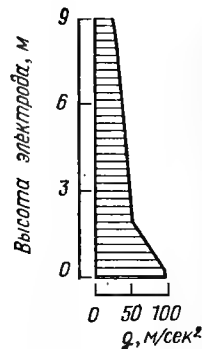


Рис. 4.15. Баланс распределения осажденной пыли на поверхности электродов и величины ускорений на них [75, 77]:

а — коробчатые электроды; б — электроды открытого типа высотой 9 м; ■ — электроды открытого типа высотой 12 м

чем у карманного электрода, и в 1,5 раза меньше, чем у желобчатого. Значения удельных масс осадительных электродов приведены ниже, кг/м²:

Карманный	60
Желобчатый	30
Открытого профиля	20

Применение этих осадительных электродов и унификация оборудования позволили в электрофильтрах типа УГ увеличить на 15 % удельную поверхность осаждения и снизить в 1,2 раза металлоем-

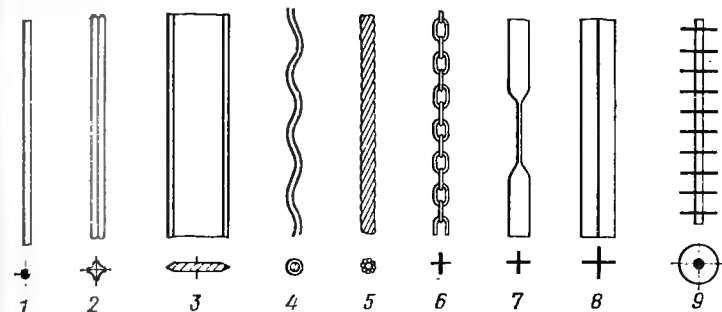


Рис. 4.16. Коронирующие электроды без фиксированных разрядных точек:

1 — круглый провод; 2 — штыкового сечения; 3 — ленточный; 4 — спиральный; 5 — канатный; 6 — цепной; 7 — ленточный с изгибами; 8 — крестообразный; 9 — дисковый

кость оборудования по сравнению с аппаратами ПГД. Разработка для аппаратов новой серии типа ЭГА электродов шириной до 640 мм и увеличение расстояния между одноименными электродами до 300 мм (вместо 275 мм в электрофильтрах УГ) позволили снизить металлоемкость электрофильтров ЭГА на 20 %. Благодаря жесткости конструкции электродов открытого профиля последние транспортируются пакетами, что способствует применению прогрессивных технологических методов ускорения монтажа аппарата и повышению качества работы.

Коронирующие электроды должны обладать: точной формой для создания интенсивного и достаточно однородного коронного разряда; механической прочностью и жесткостью для обеспечения продолжительности кампании электрофильтра в условиях вибрации и раскачивания под влиянием сил электрического поля, воздействия механизмов отряхивания и движущегося пылегазового потока; стойкостью к агрессивным компонентам, содержащимся в газе, и к повышенным температурам [77, 78]. В высокопроизводительных электрофильтрах длина коронирующих электродов составляет несколько километров, поэтому выдвигаются требования простоты изготовления и низкой стоимости электродов.

По принципу действия существующие типы коронирующих электродов разделяют на две группы [71]. К первой группе относятся электроды, которые не имеют фиксированных разрядных точек и при отрицательной короне точки разряда располагаются вдоль электрода на разном расстоянии друг от друга в зависимости от состояния поверхности электрода. Сечение таких электродов выбирается с учетом обеспечения необходимой механической прочности, а излучающие по-

верхности имеют малый радиус кривизны, что обеспечивает интенсивность коронного разряда (рис. 4.16). Ко второй группе относятся электроды с фиксированными точками разряда по их длине. Для фиксации разрядных точек на поверхности электрода на определенном расстоянии друг от друга располагаются острия или шипы (рис. 4.17).

Использование электродов с фиксированными разрядными точками позволяет задаваться определенным током короны за счет изме-

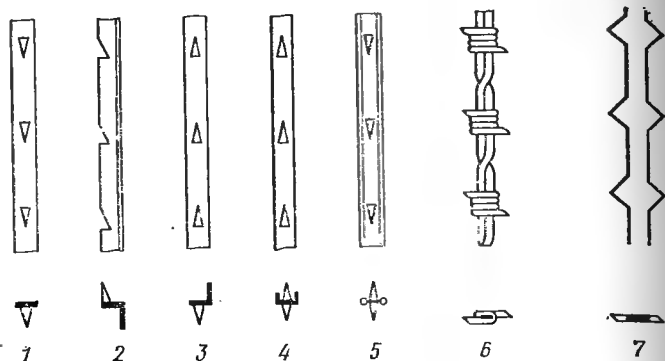


Рис. 4.17. Коронирующие электроды с фиксированными разрядными точками: 1—5 — игольчатые различного профиля; 6, 7 — с фиксированными выступами

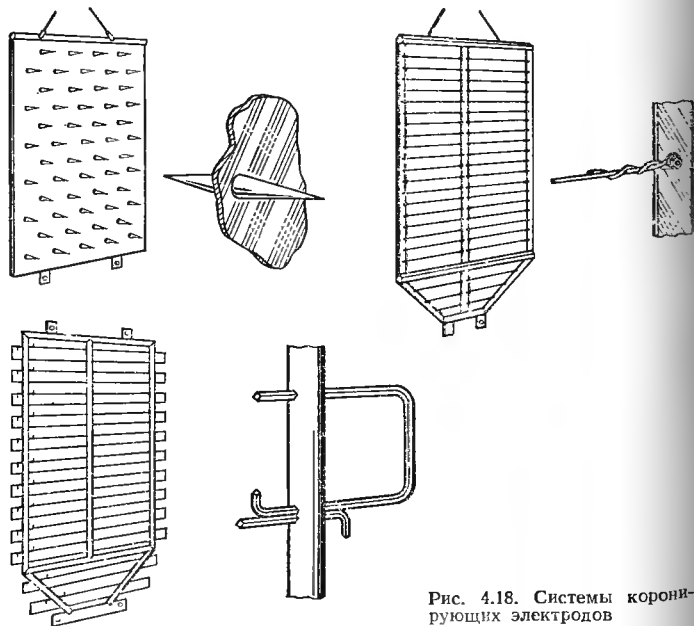


Рис. 4.18. Системы коронирующих электродов

нения шага игол по длине электрода, а также по набору высоты игол. В ряде случаев электроды с фиксированными точками разряда позволяют получать высокую степень очистки даже при улавливании пылей с неблагоприятными физико-химическими свойствами; выбор типа игольчатых электродов для улавливания конкретной пыли определяется в процессе проектирования установки.

В зависимости от конструкции электрофильтра системы коронирующих электродов делятся на три группы: с рамными электродами, со свободно подвешенными нежесткими и жесткими коронирующими электродами. В рамных электродах (рис. 4.18) коронирующие элементы закрепляются в жестких рамах, которые опираются на изоляторы. При верхнем подвесе рам электроды удерживаются от раскочки путем фиксации между собой связями, расположенными под нижним уровнем осадительных электродов. Рамная конструкция коронирующих электродов ограничивается температурой 300—330°C; при более высоких температурах газа происходит деформация трубчатых рам.

4.3. СИСТЕМЫ РЕГЕНЕРАЦИИ ЭЛЕКТРОДОВ ЭЛЕКТРОФИЛЬТРОВ

В сухих электрофильтрах основную пылевую нагрузку воспринимают осадительные электроды, некоторая часть пыли осаждается на коронирующих электродах. Для очистки электродов от пыли применяются различные способы встряхивания.

Осадительные электроды встряхиваются путем сообщения электродам возмущающего усилия, способного оторвать слой пыли, накопившейся на их поверхности. При больших ускорениях, сообщаемых электроду, очистка его поверхности происходит лучше. Однако это приводит к механическим повреждениям как электродов, так и систем их подвески. Поиски оптимального решения привели к разработке различных систем и механизмов встряхивания. В мировой практике для встряхивания электродов применяются механические системы ударно-молоткового действия, пневматические, магнитно-импульсные и вибрационные системы [24, 74].

В СССР почти все сухие электрофильтры оборудуются механизмами ударно-молоткового действия. Механизмы отряхивания размещают снаружи или внутри электрофильтра. На рис. 4.19 показана ударно-молотковая система отряхивания электродов пластинчатого сухого электрофильтра. Каждый осадительный электрод состоит из балки подвеса осадительных элементов и полосы встряхивания. Подвеска элементов к несущей балке и навеска на них полосы встряхивания выполнены эксцентрично относительно центров тяжести элементов. Поэтому все элементы и полосы встряхивания стремятся прямоугольную плоскость осадительного электрода превратить в плоскость косоугольного параллелограмма и тем самым отклонить полосы встряхивания в направлении хода газа (навстречу удару молотков). Эксцентричная подвеска элементов облегчает возврат их в вертикальное положение после смещения в результате удара молотков. Приводной двигатель системы встряхивания устанавливается снаружи на корпусе электрофильтра. Во избежание увеличения вторичного уноса пыли ударные молотки расположены со смещением относительно друг друга на 24°.

Для облегчения сборочных работ при монтаже электрофильтра и лучшей центровки удара между молотком и наковальней иногда устанавливают штоки, которые собираются в единый блок с молот-

ковым валом на заводе-изготовителе (рис. 4.20). Подбором оптимальной массы молотка можно регулировать силу удара по накопальне. В этом направлении в современных электрофильтрах достигнут значительный прогресс. Осадительные электроды из жестких профилированных элементов хорошо встряхиваются по всей площади (см. рис. 4.15).

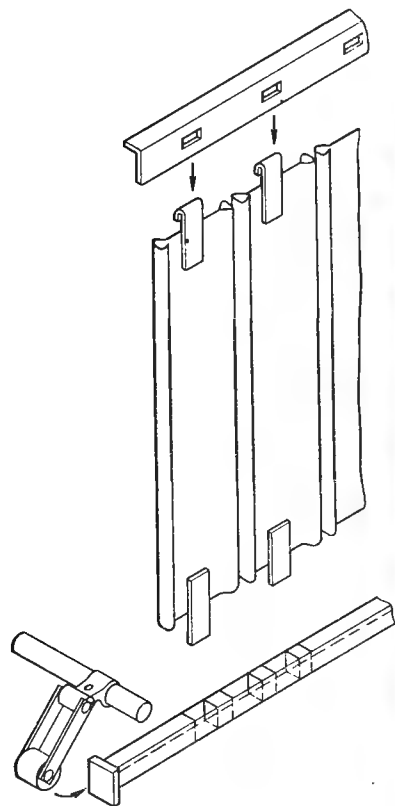


Рис. 4.19. Система подвеса и встряхивания осадительных электродов



Рис. 4.20. Система встряхивания осадительных электродов электрофильтра типа ЭГА

Магнитно-импульсная система встряхивания имеет ряд преимуществ по сравнению с молотково-ударной системой. Роль ударного молотка выполняет стальной плунжер электромагнита постоянного тока. В зависимости от напряжения, подаваемого на обмотку электромагнита, можно в достаточно широких пределах регулировать силу удара. Частота удара регулируется механическими или электронными переключающими устройствами (рис. 4.21). Располагая электромагниты по высоте и ширине корпуса аппарата, встряхивание можно осуществлять по всей площади осадительных электродов, что особенно важно при улавливании трудноотряхиваемых пылей [24].

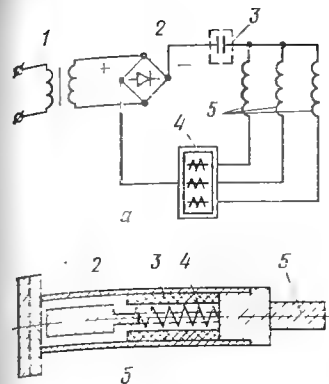


Рис. 4.21. Магнитно-импульсная система отряхивания осадительных электродов:

а — принципиальная электрическая схема установки; 1 — трансформатор; 2 — выпрямитель; 3 — конденсатор; 4 — коммутатор; 5 — обмотка электромагнитов; б — электромагнит; 1 — корпус; 2 — плунжер; 3 — обмотка; 4 — шток; 5 — боек

Вибрационная система применяется в электрофильтрах небольшой производительности по газу (10—15 тыс. м³/ч). Здесь используются электромагнитные вибраторы (рис. 4.22), отличительной особенностью которых являются отсутствие воздушных зазоров в сердечнике и возможность регулирования частоты колебаний [74]. Это позволяет получать оптимальную амплитуду колебаний, не приводящих к усталостному износу конструктивных узлов электрофильтра, путем исключения работы системы в резонансном режиме. Вибраторы установлены на крышке электрофильтра, а их штоки жестко соединены с подвеской осадительных коронирующих электродов (рис. 4.23).

Вибрационное встряхивание является универсальным, так как при вибрации электроды очищаются от пыли с неблагоприятными свойствами. Благодаря гибкой схеме управления можно в широких пределах регулировать интенсивность и частоту колебаний. При оптимальном режиме работы вибраторы потребляют значительно меньше энергии, чем приводы молотково-ударного действия.

Системы промывки электродов в мокрых электрофильтрах

Для удаления осажденных в мокрых электрофильтрах твердых частиц применяются периодическая и непрерывная промывки электродов.

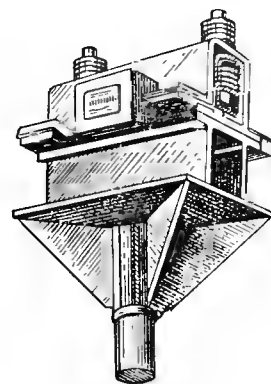


Рис. 4.22. Электромагнитный вибратор типа Синекс (Франция)

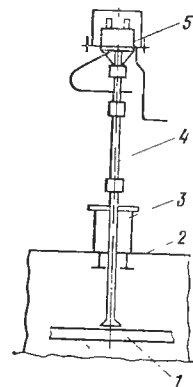


Рис. 4.23. Система подвески коронирующих электродов к электромагнитному вибратору [74]:

1 — система коронирующих электродов; 2 — крышка электрофильтра; 3 — опорно-проходной фарфоровый изолятор; 4 — шток из изоляционного материала; 5 — электромагнитный вибратор

Периодическая промывка электрофильтра создается подачей в активную зону большого количества промывочной жидкости в течение короткого срока (обычно до 15 мин). Естественно, что во время такой промывки напряжение с коронирующей системы должно быть снято, так как в противном случае неизбежны электрические пробоя. Поэтому на время периодической промывки однополюсных электрофильтров необходимо отключать газопылевой поток в промываемую секцию или весь электрофильтр (если в установке имеется несколько параллельно установленных аппаратов) во избежание проскока неочищенного газа. В многополюсных мокрых электрофильтрах обычно

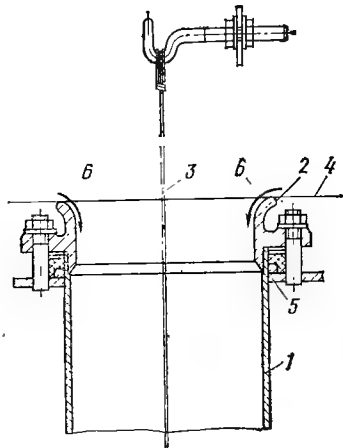


Рис. 4.24. Непрерывная пленочная промывка трубчатого осадительного электрода:

1 — осадительный электрод; 2 — переливная насадка; 3 — коронирующий электрод; 4 — уровень воды в отсеке; 5 — дно отсека; 6 — направление перелива

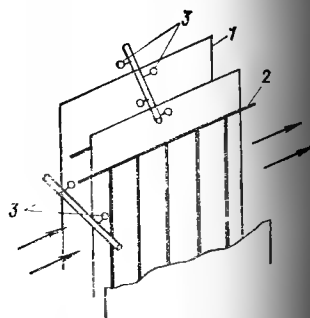


Рис. 4.25. Форсуночная непрерывная промывка в горизонтальном электрофильтре:

1 — осадительный электрод; 2 — коронирующий электрод; 3 — форсунки для распыливания промывочной жидкости

промывается только одно из полей, поэтому через такой электрофильтр можно продолжать очистку газа при некотором ухудшении ее эффективности. Периодическая промывка применяется только в том случае, если осаждаемая на электродах пыль не склонна к схватыванию (к цементации) или хорошо растворяется промывной жидкостью, так как в противном случае смывать образовавшиеся в период между промывками отложения на электродах не удастся.

Непрерывная промывка осуществляется подачей на электроды минимально необходимого количества промывочной жидкости для создания пленки, непрерывно смывающей осаждаемую пыль. Основным требованием к системе непрерывной промывки является недопущение электрического пробоя в электрофильтре за счет струйного стекания жидкости с заземленных узлов электрофильтра на коронирующую систему и в обратном направлении.

Непрерывная пленочная промывка применяется обычно в трубчатых электрофильтрах и обеспечивает смыв осадка только с осадительных электродов (рис. 4.24). Вода подается в верхнюю часть аппарата, подводится к каждому из трубчатых осадительных электродов

и через специальные переливные насадки тонкой пленкой стекает на внутреннюю поверхность трубы. Установлено, что для создания пленки путем перелива расход воды должен быть не менее 300 л/ч на 1 м периметра слива. Для облегчения создания условий пленочного орошения с учетом неравномерности раздачи воды по электродам иногда принимают расход воды на 20—30 % выше указанного. Однако значительное превышение расхода воды по сравнению с минимальным недопустимо, так как может вызвать образование струй, сливающихся с нижнего конца осадительного электрода на нижнюю коронирующую электродов. При правильной организации подачи воды на пленку и удалении нижней рамы от осадительного электрода на необходимое расстояние (не менее 500—700 мм) перекрытия не наблюдается.

Система пленочного орошения сложна в наладке, так как требует обезжиривания кромок насадок, установки их строго горизонтально на одном уровне как в каждой трубе, так и в электрофильтре в целом и равномерной раздачи воды по всем электродам. Система быстро выходит из строя при неполадках (перебоях в снабжении водой, ухудшении качества подаваемой воды, остановках и т. п.). В связи с этим эксплуатация электрофильтров, снабженных системой пленочной промывки, осложнена.

Непрерывная форсуночная промывка (рис. 4.25) широко применяется в пластинчатых мокрых электрофильтрах. Вода при этом подается в активный объем электрофильтра в виде тонко раздробленных капель из форсунок, расположенных в верхней части аппарата, над электродами, а в горизонтальных электрофильтрах также и в газовом потоке перед промываемыми полями.

Капельная влага, попадая в электрическое поле, осаждается равномерно на осадительных и частично на коронирующих электродах, благодаря чему создаются хорошие условия для смыва осадка. Расход воды на форсуночную промывку может быть принят меньшим, чем на пленочную, так как распределение ее по электродам в данном случае является более совершенным. Основным условием надежной работы форсуночной системы непрерывной промывки является тщательный контроль за работой форсунки. Частичная забивка форсунки может привести к образованию сплошной струи на выходе из форсунки и электрическому пробую, а полная забивка форсунки — к образованию неорошаемого участка на электродах, что выводит работу электрофильтра из нормального режима.

В электрофильтрах с непрерывной промывкой возможно наряду с этим наличие периодической промывки для смыва отложений с тех поверхностей, на которые не воздействует система непрерывной промывки. Особенно это относится к пленочной системе промывки, которая смывает осаждаемую пыль только с осадительных электродов, и поэтому периодическая промывка системы коронирующих электродов в таких аппаратах необходима.

4.4. ИЗОЛЯТОРЫ И ИЗОЛЯТОРНЫЕ КОРОБКИ ЭЛЕКТРОФИЛЬТРОВ

Изоляторы в электрофильтрах применяются для изолирования металлоконструкций от токонесущих частей коронирующей системы. Одновременно они выполняют роль несущих конструкций. Поэтому изоляторы электрофильтров работают в тяжелых условиях. Они бывают покрыты слоем пыли, сконденсированными парами воды и одновременно подвер-

жены воздействию температуры, а также значительным механическим и электродинамическим нагрузкам. Кроме механической прочности, главное требование, которое предъявляется к изоляторам, состоит в том, чтобы они, несмотря на наличие загрязнений на поверхности, обладали возможно большим разрядным напряжением. В электрофильтрах используются кварцевые, фарфоровые, бумажно-бакелитовые изоляторы. В последнее время благодаря высокой механической прочности и относительной простоте технологии изготовления начинают находить применение **ситалловые изоляторы** [24].

Электрические характеристики изолятора определяются размерами и соотношениями между указанными ниже геометрическими параметрами. Конструктивно изоляторы характеризуются следующими параметрами: высотой H , максимальным диаметром D , длиной l_r изолятора, представляющей собой среднее геометрическое из величин его высоты и диаметра и равной: $l_r = \sqrt{HD}$.

Длина пути тока утечки l_u представляет собой длину линии по поверхности изолятора, проведенной по кратчайшему расстоянию между электродами. Сопротивление утечки изолятора R_y определяется по формуле

$$R_y = \rho_n f, \quad (4.4)$$

где ρ_n — удельное поверхностное сопротивление изолятора (с учетом осевшей на нем пыли); f — коэффициент формы. Конструктивные размеры и конфигурация поверхности изолятора связаны электрическими свойствами, из которых основными являются сухоразрядное и мокроразрядное расстояния [24].

Наиболее неблагоприятные условия для работы изоляторов наблюдаются в электрофильтрах с высокой температурой точки росы фильтруемых газов. При незначительном снижении температуры газа в изоляторной коробке (например, при выходе из строя электронагревательного элемента) из-за конденсации влаги из газа на поверхности изолятора образуется проводящая пленка. В этих условиях по поверхности изолятора протекает ток порядка нескольких миллиампер. В силу неравномерности отложений пыли на изоляторе на его поверхности образуется зона подсушивания, проводимость в этой зоне уменьшается, происходит перераспределение плотности тока и начинается подсушивание соседних участков. В результате на изоляторе возникает пояс сухой поверхности с высоким электрическим сопротивлением. Когда напряжение на этом поясе достигает величины, достаточной для ионизации воздуха, начинается газовый разряд. При достаточной проводимости неподсушенной части изолятора он завершается между краями сухой пояски искровым пробоем, который переходит в электрическую дугу. Ток утечки по поверхности изолятора сосредоточивается в этой дуге, а продолжающаяся подсушка увлажненных участков поверхности сопровождается продвижением опорных точек дуги к электродам изолятора. Дуга удлиняется и происходит полное перекрытие всего межэлектродного промежутка, в результате чего изолятор выходит из строя. Правила эксплуатации изоляторов электрофильтров рассмотрены ниже.

Изоляторы электрофильтров делятся на опорно-проходные, опорные и разделительные. В качестве опорно-проходного изолятора используются конические или цилиндрические изоляторы из кварца или фарфора (рис. 4.26, а). Кварцевые изоляторы хорошо зарекомендовали себя в промышленности и, как правило, выдерживают несколько кампаний электрофильтра. Их можно применять при температуре до 400 °С; при

увеличении температуры появляются заметные утечки тока и изолятор пробивается. Недостатком кварцевых изоляторов является их хрупкость. Фарфоровые изоляторы прочнее кварцевых и их механическая прочность значительно выше, особенно при больших нагрузках. Однако при повышении температуры электрическое сопротивление фарфора

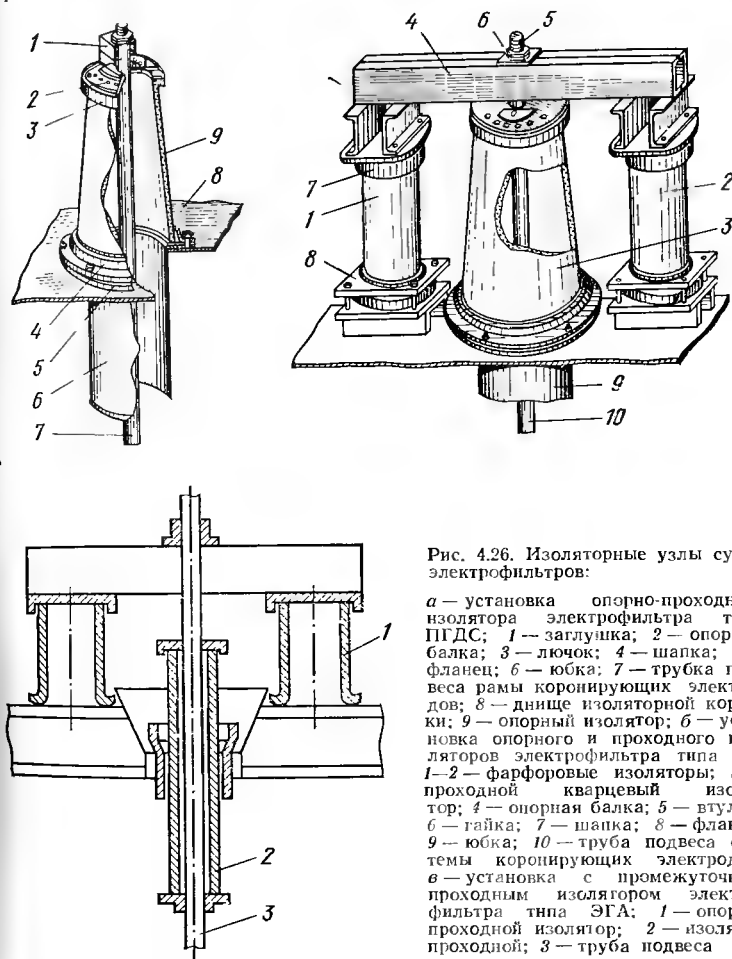


Рис. 4.26. Изоляторные узлы сухих электрофильтров:

а — установка опорно-проходного изолятора электрофильтра типа ПГДС; 1 — заглушка; 2 — опорная балка; 3 — лючок; 4 — шапка; 5 — фланец; 6 — юбка; 7 — трубка подвеса рамы коронирующих электродов; 8 — днище изоляторной коробки; 9 — опорный изолятор; б — установка опорного и проходного изоляторов электрофильтра типа УГ; 1 — 2 — фарфоровые изоляторы; 3 — проходной кварцевый изолятор; 4 — опорная балка; 5 — втулка; 6 — гайка; 7 — шапка; 8 — фланец; 9 — юбка; 10 — труба подвеса системы коронирующих электродов; в — установка с промежуточным проходным изолятором электрофильтра типа ЭГА; 1 — опорно-проходной изолятор; 2 — изолятор проходной; 3 — труба подвеса

снижается значительно быстрее, чем у кварца. Поэтому фарфоровые изоляторы рекомендуется применять для электрофильтров с рабочей температурой 250—350 °С.

Особенностью опорно-проходного изолятора является то, что его внутренняя полость сообщается с пылегазовым потоком, а наружная поверхность — с атмосферным воздухом. Эти условия вынуждают применять рассматриваемые узлы в аппаратах, где кислотная точка росы обеспыливаемых газов не превышает 120—150 °С, что связано с техни-

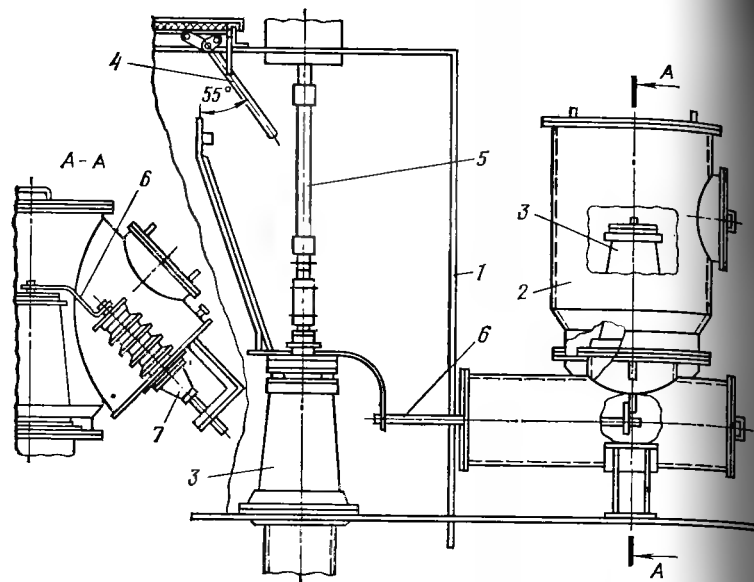


Рис. 4.27. Установка узла подвода тока высокого напряжения к системе коронирующих электродов электрофилтра типа УГЗ:

1 — поперечная балка корпуса; 2 — защитная коробка; 3 — изолятор ХУ-105у; 4 — заземление; 5 — вал-изолятор; 6 — токопроводы; 7 — концевая муфта

ческими трудностями обеспечения температурного режима стенки изолятора. Узел с промежуточным проходным изолятором (рис. 4.26, б) применяется, когда пылегазовый поток имеет относительно высокую температуру, а в газовой фазе содержатся компоненты, конденсирующиеся при температуре выше 200 °С.

Разделительные (шатунные) изоляторы применяются для изолирования токонесущих узлов коронирующей системы от металлоконструкций механизмов встряхивания электродов. В качестве шатунных изоляторов используют бумажно-бакелитовые, фарфоровые и стеклоэпоксидные стержни диаметром 50—60 и высотой 60—70 мм. В современных сухих горизонтальных электрофилтрах типа УГ, ЭГА и других применяются опорно-проходные кварцевые изоляторы типа ХУ-105, а в качестве шатунных — стеклотекстолитовые (марки СТЭФ) с рабочей температурой 155 °С (рис. 4.27).

При отсутствии загрязнения поверхности при температуре 150 °С изоляторы выдерживают полное рабочее напряжение 80 кВ при следующем токе утечки: кварцевые изоляторы 50 мкА, стеклоэпоксидные и стеклотекстолитовые 1 мкА. Изоляторы типа ХУ-105 при сжатии выдерживают нагрузку от 70 до 20 кН.

Изоляторные коробки электрофилтров. Для защиты изоляторов от воздействия пылегазовой среды их выводят из потока грязного (неочищенного) газа и устанавливают в специальных изоляторных коробках. Изготавливают изоляторные коробки из листовой стали. Наружные стенки последних теплоизолируют. Для соблюдения правил техники безопасности люки изоляторных коробок запираются специальными зам-

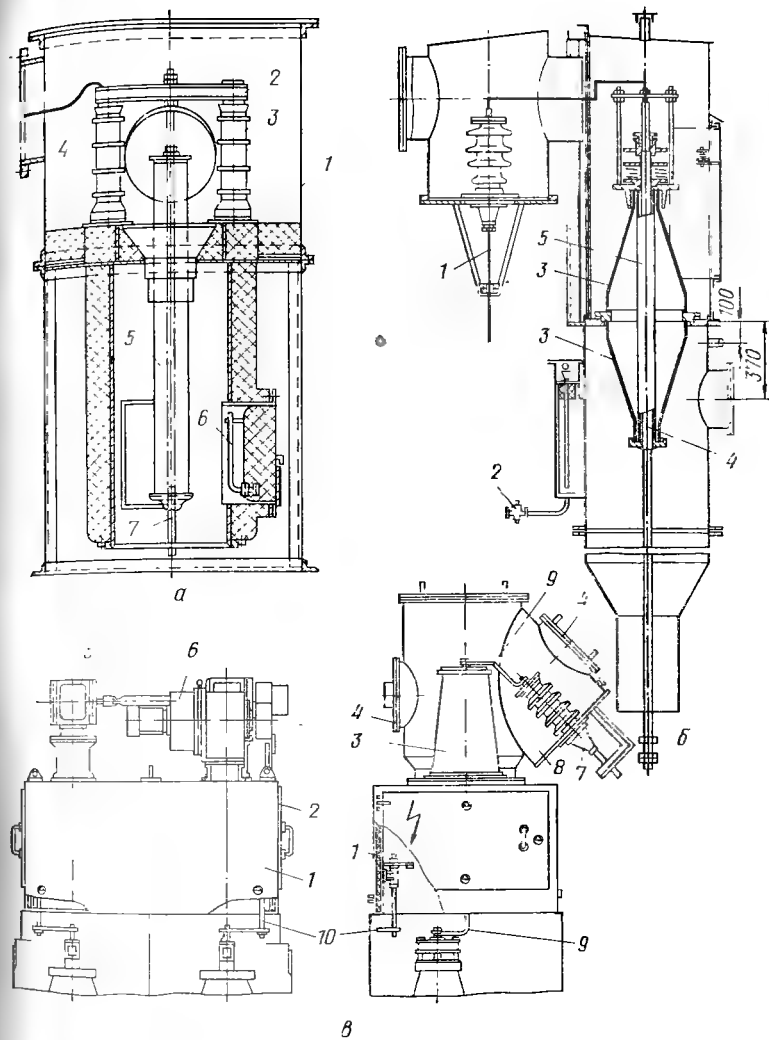


Рис. 4.28. Изоляторные коробки электрофилтров:

а — изоляторная коробка с проходным обогреваемым изолятором; 1 — корпус коробки; 2 — опорная траверса; 3 — опорный изолятор; 4 — шина высокого напряжения; 5 — трубчатый проходной изолятор; 6 — электрический нагревательный элемент; 7 — тяга подвеса коронирующих электродов; 8 — изоляторная коробка с обогревом и продувкой инертным газом; 1 — подвод тока высокого напряжения; 2 — продувка инертным газом; 3 — верхние и нижние изоляторы; 4 — тяга подвеса коронирующих электродов; 5 — фторопластовая труба; 6 — изоляторная коробка электрофилтра ЭГА; 1 — коробка; 2 — дверца; 3 — опорно-проходной изолятор; 4 — лючки обслуживания; 5 — угловой редуктор; 6 — привод; 7 — концевая муфта; 8 — защитная коробка; 9 — токопроводы; 10 — заземление

Марка	Активная высота электродов, м	Активная длина поля, м	Общая площадь осаджения, м ²	Габаритные размеры, м		
				длина	ширина (по осям опор)	высота
УГ1-2-10	4,2	2,51	420	9,6	3,0	12,3
УГ1-3-10	4,2	2,51	630	14,1	3,0	12,3
УГ1-2-15	4,2	2,51	630	9,6	4,5	12,3
УГ1-3-15	4,2	2,51	940	14,1	4,5	12,3
УГ2-3-26	7,5	2,51	1690	14,1	4,5	15,4
УГ2-4-26	7,5	2,51	2250	18,6	4,5	15,4
УГ2-3-37	7,5	2,51	2360	14,1	6,0	15,4
УГ2-4-37	7,5	2,51	3150	18,6	6,0	15,4
УГ2-3-53	7,5	2,51	3370	14,1	9,0	15,4
УГ2-4-53	7,5	2,51	4500	18,6	9,0	15,4
УГ2-3-74	7,5	2,51	4700	14,1	12,0	15,4
УГ2-4-74	7,5	2,51	6300	18,6	12,0	15,4
УГ3-3-88	12,0	3,95	9200	18,8	9,0	21,8
УГ3-4-88	12,0	3,95	12300	24,8	9,0	21,8
УГ3-3-115	12,0	3,95	12100	18,8	12,0	21,8
УГ3-4-115	12,0	3,95	16100	24,8	12,0	21,8
УГ3-3-177	12,0	3,95	18400	18,8	18,0	21,8
УГ3-4-177	12,0	3,95	24600	24,8	18,0	21,8
УГ3-3-230	12,0	3,95	24200	18,8	24,0	21,8
УГ3-4-230	12,0	3,95	32200	24,8	24,0	21,8
УГ3-3-265	12,0	3,95	27600	18,8	27,0	21,8
УГ3-4-265	12,0	3,95	36900	24,8	27,0	21,8

ками, а внутри коробки имеется заземлитель, который автоматически срабатывает при открывании люков. В зависимости от назначения изоляторные коробки в сухих горизонтальных электрофильтрах делятся на малые (для предохранения изолятора со стороны входа газопылевого потока) и большие с подводом тока высокого напряжения к одному или двум полям электрофильтра (см. рис. 4.27).

Изоляторные коробки с проходными обогреваемыми кварцевыми изоляторами (рис. 4.28, а) устанавливаются на мокрых электрофильтрах, применяемых для улавливания тумана серной кислоты, мышьяка и селена в производстве серной кислоты, работающих при температуре 35—45 °С и разрежении до 5 кПа. Для предотвращения конденсации паров воды и кислоты на поверхности трубчатый проходной изолятор обогревается электрическими нагревателями до 150 °С.

Изоляторная коробка с обогревом и продувкой инертным газом (рис. 4.28, б) устанавливается на электрофильтрах типов СПМ и ГМЦ, очищающих газы от сажи (производство ацетилена) и доменный газ с температурой до 80 °С. Изоляторная коробка (рис. 4.28, в) устанавливается на сухих горизонтальных электрофильтрах.

4.5. СУХИЕ ЭЛЕКТРОФИЛЬТРЫ

Электрофильтры серии УГ — унифицированные горизонтальные для очистки газов с температурой до 250 °С (рис. 4.29). Эти аппараты выпускаются взамен снятых с производства электрофильтров типов ДППН, ПГД, ПГДС, АП, Ц и имеют общепромышленное назначение. Технические характеристики электрофильтров приведены в табл. 4.1. Электро-

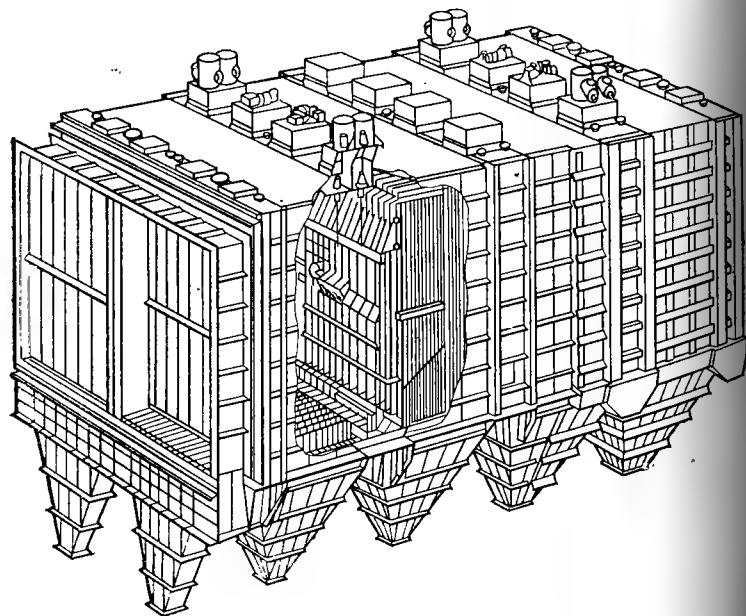


Рис. 4.29. Электрофильтр УГ3

фильтры первого габарита УГ1 имеют высоту электродов 4000 мм, второго габарита УГ2 7500 мм, а третьего габарита УГ3 12000 мм. Остальные цифры, приведенные на марке электрофильтра, указывают число полей фильтра и его активное сечение. Например, марка электрофильтра УГ2-3-53 означает, что высота электродов 7500 мм, аппарат трехполюсный активным сечением 53 м².

Электрофильтры первого и второго габаритов имеют активную длину полей 2,5 м, электрофильтры третьего габарита 4 м. Электрофильтры первого габарита выпускаются двух- и трехполюсными, а второго и третьего габаритов — трех- и четырехполюсными.

Осадительные электроды в электрофильтрах УГ — из профилированных тонкостенных широкополосных (ширина элемента 350 мм) элементов открытого профиля с нижним молотковым встряхиванием.

Коронирующие электроды — рамной конструкции, с боковым подвесом на кварцевых опорно-проходных изоляторах и молотковым встряхиванием. Коронирующие электроды электрофильтров УГ3 встряхиваются в двух уровнях. Элементы коронирующих электродов — игольчатые из стальной ленты с выштампованными острями. Шаг между одноименными электродами 275 мм.

Корпуса электрофильтров УГ рассчитаны на работу под разрежением до 3—4 кПа и заполнение бункеров пылью с насыпной массой до 1500 кг/м³. Разработаны усиленные корпуса, рассчитанные на улавливание пыли с насыпной массой до 3500 кг/м³ и разрежение до 10—

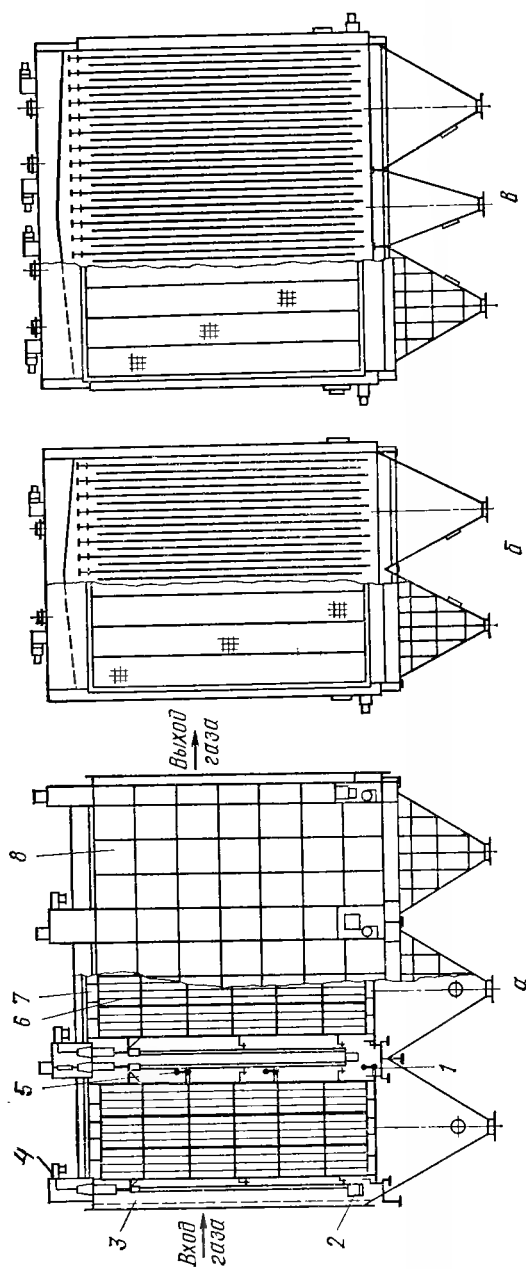


Рис. 4.30. Электрофильтры ЭГА:

а — односекционные; б — двухсекционные; в — вид сбоку. 1 — механизм встряхивания осадительных электродов; 2 — люк обслуживания; 3 — газораспределительная решетка; 4 — защитная коробка для подвода тока; 5 — механизм встряхивания коронирующих электродов; 6 — осадительный электрод; 7 — коронирующий электрод; 8 — корпус

15 кПа. Корпуса снабжены пирамидальными бункерами для сбора уловленной пыли, в электрофильтрах первого габарита предусмотрена возможность применения щелевых бункеров с использованием цепных или шнековых транспортеров для выгрузки пыли. В комплекте с электрофильтром предусмотрена поставка (в случае необходимости) узлов виброотряхивания бункеров и встряхивания газораспределительных решеток.

Электрофильтры серии ЭГА (рис. 4.30, табл. 4.2) — горизонтальные, изготавливаются в широком диапазоне типоразмеров с унифицированными узлами, что позволяет обеспечить наилучшие технико-экономические показатели установок электрогазоочистки. Максимальная температура применения 330 °С. Электродная система составлена из широкополосных (ширина элемента 640 мм) элементов открытого профиля и рамных коронирующих электродов с игольчатыми элементами. Шаг между одноименными электродами 300 мм. Электрофильтры с числом проходов от 10 до 40 — односекционные, от 48 до 88 — двухсекционные.

Условное обозначение типоразмера электрофильтра: Э — электрофильтр; Г — горизонтальный; А — модификация; числа после букв обозначают: первое — количество секций, второе — количество газовых проходов, третье — номинальная высота электродов (м); четвертое — количество элементов в осадительном электроде; пятое — количество электрических полей по длине электрофильтра; шестое — температура в электрофильтре (°С); седьмое — разрежение в электрофильтре (кПа); далее — дополнительные данные (например, тип бункеров и т. д.).

Корпуса электрофильтров рассчитаны на применение в районах сейсмичностью не более 7 баллов. В электрофильтрах по ширине размещается от 10 до 88 газовых проходов. Номинальная высота электродов принимается из ряда 6; 7,5; 9; 12 м. Осадительный электрод набирается из 4–8 элементов, что дает активную длину поля соответственно 2,56; 3,2; 3,84; 4,48; 5,12 м. Число полей — от двух до четырех.

Электрофильтры серии ЭГА по компоновке электродных систем и встряхивающих механизмов не имеют принципиальных отличий от электрофильтров серии УГ, однако применение целого ряда усовершенствований позволило значительно улучшить характеристики новых электрофильтров, обеспечив снижение их массы и увеличение уровня надежности.

Электрофильтры серии УГТ (табл. 4.3) — унифицированные горизонтальные высокотемпературные сухие, предназначены для очистки от пыли газов с температурой до 425 °С и применяются в химической промышленности, в черной и цветной металлургии, цементной промышленности (рис. 4.31). Промышленностью освоен выпуск электрофильтров серии УГТ первого габарита с активной высотой поля 7,5 м. Электрофильтры УГТ имеют активную длину полей 2,5 м и выпускаются трехпольными.

Осадительные электроды — прутковые с молотковым встряхиванием в средней части электрода. Коронирующие электроды — свободно подвешенные с грузовым натяжением из проволоки диаметром 2,2 мм, с молотковым встряхиванием верхней рамы и подвесом системы на вынесенных из зоны электрофильтра опорных фарфоровых изоляторах, с применением в качестве проходных изоляторов кварцевых труб. Корпуса электрофильтров рассчитаны на разрежение 4 кПа и насыпную массу пыли до 2000 кг/м³. Бункера корпусов — пирамидальные или щелевые.

Электрофильтры серии ОГП (табл. 4.3) — горизонтальные сухие электрофильтры, предназначены главным образом для улавливания

огарковой пыли из газов, отходящих от печей обжига флотационного колчедана в сернокислотном производстве при температуре до 425 °С, однако могут применяться и в других процессах при аналогичных условиях. Электрофильтры имеют активную высоту поля 4,5 м и выпускаются четырехполюсными с полями активной длиной 1,5 м. В специальных случаях возможно применение пятиполюсных аппаратов.

Принципиальное конструктивное решение осадительных и коронирующих электродов такое же, что и электрофильтров УГТ.

Электрофильтры ОГП и УГТ заменяются аппаратами ЭГТ (электрофильтры горизонтальные, модификация Т), в которых прутковые осадительные электроды заменяются пластинчатыми открытого профиля,

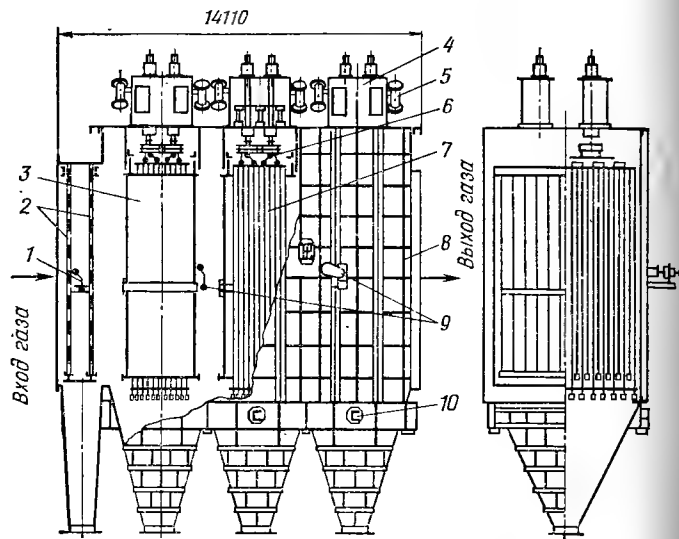


Рис. 4.31. Электрофильтр УГТ1-40Х3:

1 — механизм встряхивания газораспределительных решеток; 2 — газораспределительные решетки; 3 — осадительный электрод; 4 — изоляторная труба; 5 — защитная коробка для подвода тока; 6 — механизм встряхивания коронирующих электродов; 7 — коронирующий электрод; 8 — корпус; 9 — механизм встряхивания осадительных электродов; 10 — люк обслуживания

а проволочные коронирующие электроды — ленточными с выштампованными зубцами.

Электрофильтры серии УВ (рис. 4.32, табл. 4.4) — унифицированные вертикальные пластинчатые сухие для очистки газов при температуре до 250 °С, выпускаются взамен электрофильтров типа ДВП и ДВПН и предназначены для очистки от пыли дымовых газов, аспирационного воздуха и других промышленных газов при условиях, благоприятных для работы электрогазоочистительных установок (невысокие запыленности очищаемого газа, отсутствие мелких частиц в очищаемом газе, хорошая отряхиваемость пыли с электродов, невысокие скорости в активном сечении, не превышающие 1 м/с).

Электрофильтры имеют одно поле активной длиной 7,4 м и разделены по газу на 1—3 секции. Активное сечение одной секции 10, 16 и 24 м². Секции сечением 10 и 16 м² набираются из электродов шириной

ТАБЛИЦА 4.2
ТЕХНИЧЕСКИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ ЭЛЕКТРОФИЛЬТРОВ СЕРИИ ЭГА

Марка	Активная длина поля, м	Площадь активного сечения, м ²	Общая площадь осаждения, м ²	Габаритные размеры, м		
				длина	ширина (по осям опор)	высота
ЭГА1-10-6-4-2	2,56	16,5	630	9,26	3,2	12,4
ЭГА1-10-6-4-3	2,56	16,5	950	13,44	3,2	12,4
ЭГА1-10-6-6-2	3,84	16,5	950	11,82	3,2	13,4
ЭГА1-10-6-6-3	3,84	16,5	1430	17,28	3,2	13,4
ЭГА1-14-7, 5-4-3	2,56	28,7	1660	13,44	4,4	13,9
ЭГА-14-7, 5-4-4	2,56	28,7	2210	17,62	4,4	13,9
ЭГА1-14-7,5-6-2	3,84	28,7	1660	11,82	4,4	14,9
ЭГА1-14-7,5-6-3	3,84	28,7	2480	17,28	4,4	14,9
ЭГА1-20-7,5-4-3	2,56	41,0	2360	13,44	6,2	15,4
ЭГА1-20-7,5-4-4	2,56	41,0	3160	17,62	6,2	15,4
ЭГА1-20-7,5-6-2	3,84	41,0	2360	11,82	6,2	15,4
ЭГА1-20-7,5-6-3	3,84	41,0	3550	17,28	6,2	15,4
ЭГА1-20-9-6-2	3,84	49,0	2830	11,82	6,2	16,9
ЭГА1-20-9-6-3	3,84	49,0	4240	17,28	6,2	16,9
ЭГА1-20-9-6-4	3,84	49,0	5660	22,74	6,2	16,9
ЭГА1-30-7,5-4-3	2,56	61,4	3550	13,44	9,2	14,9
ЭГА1-30-7,5-4-4	2,56	61,4	4730	17,62	9,2	14,9
ЭГА1-30-7,5-6-2	3,84	61,4	3550	11,82	9,2	14,9
ЭГА1-30-7,5-6-3	3,84	61,4	5320	17,28	9,2	14,9
ЭГА1-30-9-6-2	3,84	73,4	4240	11,82	9,2	16,4
ЭГА1-30-9-6-3	3,84	73,4	6360	17,28	9,2	16,4
ЭГА1-30-9-6-4	3,84	73,4	8480	22,74	9,2	16,4
ЭГА1-30-12-6-3	3,84	97,4	8440	17,28	9,2	19,4
ЭГА1-30-12-6-4	3,84	97,4	11250	22,74	9,2	19,4
ЭГА1-40-7,5-4-3	2,56	81,9	4730	13,44	12,2	15,4
ЭГА1-40-7,5-4-4	2,56	81,9	6310	17,62	12,2	15,4
ЭГА1-40-7,5-6-2	3,84	81,9	4730	11,82	12,2	15,4
ЭГА1-40-7,5-6-3	3,84	81,9	7100	17,28	12,2	15,4
ЭГА1-40-9-6-2	3,84	97,9	5650	11,82	12,2	16,9
ЭГА1-40-9-6-3	3,84	97,9	8480	17,28	12,2	16,9
ЭГА1-40-9-6-4	3,84	97,9	11310	22,74	12,2	16,9
ЭГА1-40-12-6-3	3,84	129,8	11250	17,28	12,2	19,9
ЭГА1-40-12-6-4	3,84	129,8	15000	22,74	12,2	19,9
ЭГА2-48-12-6-3	3,84	155,8	13500	17,28	15,2	19,9
ЭГА2-48-12-6-4	3,84	155,8	18000	22,74	15,2	19,9
ЭГА2-56-12-6-3	3,84	181,7	15750	17,28	17,6	19,9
ЭГА2-56-12-6-4	3,84	181,7	21000	22,74	17,6	19,9
ЭГА2-76-12-6-3	3,84	246,6	21400	17,28	23,6	19,9
ЭГА2-76-12-6-4	3,84	246,6	28500	22,74	23,6	19,9
ЭГА2-88-12-6-3	3,84	285,6	24750	17,28	27,2	19,9
ЭГА2-88-12-6-4	3,84	285,6	33000	22,74	27,2	19,9

ТЕХНИЧЕСКИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ ЭЛЕКТРОФИЛЬТРОВ СЕРИИ УГТ И ОГП

Показатели	Марка электрофилтра					
	ОГП-4-8	ОГП-4-16	УГТ1-3-30	УГТ1-3-40	УГТ1-3-60	УГТ1-3-80
Площадь активного сечения, м ²	8	16	30	40	60	80
Число полей, шт.	4	4	3	3	3	3
Шаг между одноименными электродами, мм	260	260	260	260	260	260
Активная высота электродов, м	4,5	4,5	7,5	7,5	7,5	7,5
Активная длина поля, м	1,5	1,5	2,58	2,58	2,58	2,58
Общая площадь осадительных электродов, м ²	380	760	1860	2560	3720	5120
Габаритные размеры, м:						
длина	14,4	14,4	14,0	14,0	14,0	14,0
высота	10,8	12,6	17,0	18,7	17,0	18,7
ширина (по осям крайних опор)	2,0	4,0	4,5	6,0	9,0	12,0

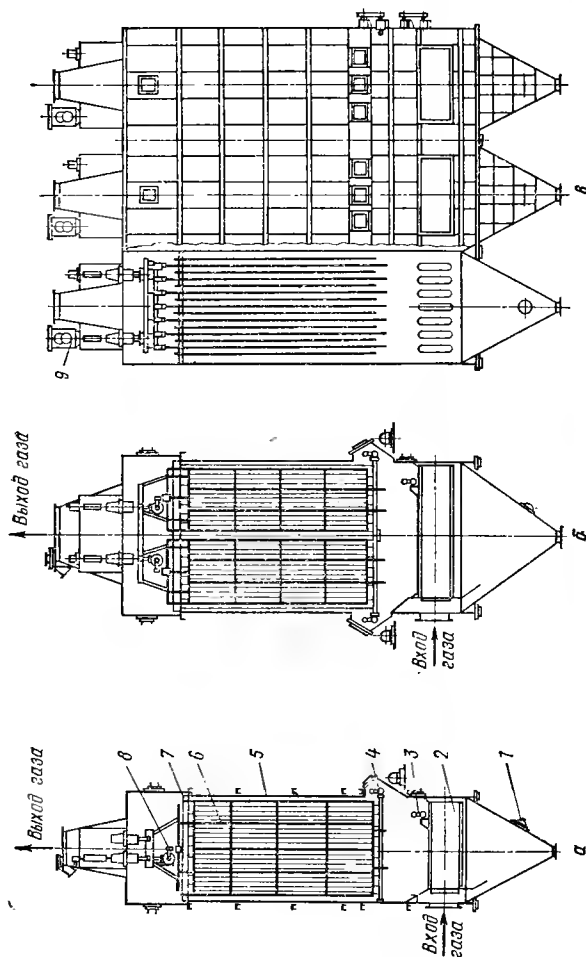


Рис. 4.32. Электрофилтры типа УВ:

а — электрофилтры УВ3×10, УВ3×16, УВ2×24 и УВ3×24; б — вид сбоку; в — вид сверху; 1 — лок обслуживания; 2 — газораспределитель; 3 — механизм встряхивания осадительных электродов; 4 — механизм встряхивания осадительных электродов; 5 — корпус; 6 — коронирующий электрод; 7 — осадительный электрод; 8 — механизм встряхивания коронирующих электродов; 9 — защитная коробка для подвода тока

4 м, а секции сечением 24 м² — из электродов шириной 6 м. Осадительные электроды в электрофилтрах серии УВ — пластинчатые из элементов открытого профиля с нижним молотковым встряхиванием. Коронирующие электроды — рамные с верхним подвесом и молотковым встряхиванием.

Основные конструктивные элементы электрофилтров серии УВ, в том числе профиль и размеры элементов осадительных электродов, узлы их подвеса, коронирующие электроды, узлы механизмов встряхивания, унифицированы с соответствующими элементами электрофилтров серии УГ.

Электрофилтры серии УВВ (см. табл. 4.4) — унифицированные вертикальные пластинчатые сухие электрофилтры для улавливания из газов угольной пыли при температуре до 130 °С. Так же как в электрофилтрах серии УВ, основные элементы унифицированы с соответствующими элементами электрофилтров серии УГ. Поскольку угольная пыль хорошо встряхивается, встряхивающие механизмы электрофилтров серии УВВ облегченные.

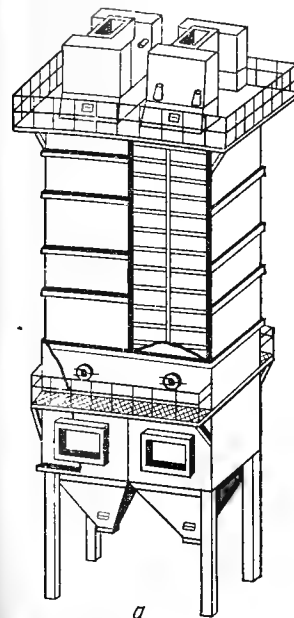
Особенностью электрофилтров серии УВВ является то, что из-за возможного возникновения взрывоопасности при накоплении угольной пыли корпуса электрофилтров выполнены в виде шахты, открытой в атмосферу. Это предотвращает разрушение корпуса при «хлопках». Кроме того, все внутренние устройства электрофилтров выполнены

Показатели	Марка электрофильтра									
	УВ-2×10	УВ-3×10	УВ-4×16	УВ-2×16	УВ-2×24	УВ-3×24	УВВ-8	УВВ-12	УВВ-16	УВВ-2×12
Площадь активной секции, м ²	21	32	16	32	48	72	8	12	16	24
Число секций, шт.	2	3	1	2	2	3	1	1	1	2
Число полей, шт.	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
Шаг между оседающими электродными, мм	275	275	275	275	275	275	350	350	350	350
Активная длина поля, м	7,4	7,4	7,4	7,4	7,4	7,4	6,2	6,2	6,2	6,2
Общая площадь осадительных электродов, м ²	1200	1800	900	1800	2600	3900	285	430	570	870
Габаритные размеры, м:										
ширина × длина (по опорам)	6,0×4,5	9,0×4,5	4,5×4,5	9,0×4,5	9,0×6,0	13,5×6,0	3,0×3,15	4,5×3,15	6,0×3,15	9,0×3,15
высота ¹	19,9	19,9	19,9	19,9	21,4	21,4	20,0	20,0	20,0	20,0
							18,6	19,3	19,3	19,3

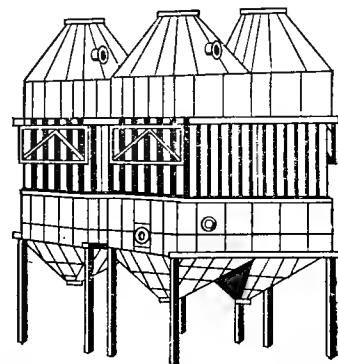
¹ В числителе — для электрофильтров с нижним подводом газа, в знаменателе — для электрофильтров с боковым подводом газа.

таким образом, чтобы избежать накопления пыли. Это достигается исклужением горизонтальных площадок или укрытием их скошенными козырьками, а также устройством стенок бункера с большими углами откосов.

Для уменьшения вероятности возникновения искрового пробоя в электрофильтрах серии УВВ межэлектродное расстояние принято увеличенным до 350 мм вместо 275 мм. Кроме рассмотренных унифицированных и серийных сухих электрофильтров общего назначения, в про-



а



б

Рис. 4.33. Электрофильтры:
а — ДВП; б — ТС

мышленности применяется несколько типов специальных сухих электрофильтров.

Электрофильтр типа СГ — горизонтальный пластинчатый сухой электрофильтр, предназначенный в основном для улавливания сажи из взрывоопасных газов сажевого производства при температуре до 250 °С и избыточном давлении до 100 Па. Осадительные электроды — прутковые, коронирующие — свободно подвешенные провода диаметром 2 мм с грузовым натяжением. Встряхивание электродов — ударно-молотковое. К особенностям электрофильтра следует отнести наличие над каждым из полей предохранительных клапанов большого сечения, а также систему обдувки изоляторов, предотвращающую отложение на них улавливаемой сажи.

Электрофильтры типа ДВП и ТС (рис. 4.33) — вертикальные трубчатые сухие электрофильтры, предназначенные для улавливания тонкой пыли при температуре до 200 °С в ряде производств (например, при производстве хромпика, оловянно-свинцовых и других солей). Электрофильтры двухполюсные, причем первое поле очищаемый газ проходит

сверху вниз, а второе — снизу вверх. Осадительные электроды выполнены из труб внутренним диаметром 300 мм и встряхиваются ударами молотков. Коронирующие электроды — свободно подвешенные провода диаметром 2 мм с грузовым натяжением — также снабжены ударно-молотковым встряхиванием. Электрофильтры ДВП установлены в основном на тепловых электростанциях. Конструкции и технико-экономические показатели других электрофильтров рассмотрены в [18, 24, 71].

4.6. МОКРЫЕ ЭЛЕКТРОФИЛЬТРЫ

Электрофильтры типа С и ПГ (рис. 4.34, табл. 4.5) — однополюсные вертикальные трубчатые электрофильтры в цилиндрическом корпусе, рассчитаны на работу под давлением до 0,03 МПа при температуре до 60 °С. Электрофильтры типа С предназначены для улавливания смолы из газов коксохимических производств и генераторных газов, а электрофильтры типа ПГ — для улавливания смолы и пыли из генераторных газов или для аналогичных условий. Осадительные электроды выполняются из стальных труб внутренним диаметром от 250 до 260 мм, коронирующие электроды — из нихромовой проволоки диаметром 3 мм с грузовым натяжением. Система коронирующих электродов подвешивается к корпусу на тарельчатых фарфоровых изоляторах, размещенных в обогреваемых коробках, токоподвод в электрофильтр выполнен с помощью специальных проходных изоляторов. Электрофильтры типа ПГ снабжены системой периодической промывки, которая состоит из коллектора с форсунками, размещенного над активной зоной. В электрофильтрах типа С этот узел не предусмотрен, так как улавливаемая смола стекает с электродов самостоятельно.

Электрофильтры типа ДМ (см. табл. 4.5) — однополюсные, многосекционные, вертикальные, трубчатые электрофильтры предназначены для тонкой очистки от пыли предварительно охлажденного и увлажненного доменного газа при температуре от 45 до 60 °С. Цилиндрические корпуса рассчитаны на давление до 0,15 или 0,25 МПа. Осадительные электроды выполнены из труб внутренним диаметром около 230 мм, а коронирующие — из мягкой медной проволоки диаметром 3 мм. Электрофильтры снабжены системами непрерывной пленочной промывки осадительных электродов и периодической форсуночной промывки всего электрофильтра. Подвесные и проходные изоляторы системы коронирующих электродов выполнены из фарфора и расположены в обогреваемых паром изоляторных коробках.

Электрофильтры типа СПМ-8 — вертикальные, пластинчатые, однополюсные электрофильтры для очистки от сажи газов в производстве ацетилена методом термоокислительного пиролиза, выполнены в прямоугольном корпусе и рассчитаны на давление до 0,015 МПа и температуру до 60 °С. Осадительные электроды плоские из стальных листов толщиной 3 мм, закрепленных в рамках из полосовой стали. Коронирующие электроды — нихромовая проволока диаметром 3 мм, свободно подвешены с грузовым натяжением. Аппарат снабжен системой непрерывной форсуночной промывки, которая состоит из восьми форсунок тонкого распыла, расположенных над активной зоной электрофильтра. Фарфоровые опорно-проходные изоляторы, на которых подвешена система коронирующих электродов, размещены в обогреваемых коробках.

Электрофильтры типа ШМК (рис. 4.35, табл. 4.6) — вертикальные, однополюсные, с шестигранными трубчатыми осадительными электродами, предназначены для очистки печного газа контактного отделения в производстве серной кислоты от тумана серной кислоты, оксидов мышьяка и селена. Аппараты рассчитаны на разрежение до 6 кПа и тем-

пературу до 50 °С. Система осадительных электродов представляет собой пакет выполненных в виде сот свинцовых шестигранных, подвешенных верхней частью к оцинкованной трубной решетке. Коронирующий электрод — оцинкованная стальная проволока, причем оцинкованная проволока в виде звездочки. Система коронирующих электродов подвешивается на фарфоровых изоляторах. Корпус электрофильтра стальной, цилиндрический, с кислотостойкой футеровкой.

Применение электродов с фиксированными разрядными точками позволяет интенсифицировать процесс очистки газа в этих электро-

фильтрах и увеличить их производительность, не уменьшая степени очистки. Это предложение реализовано в разработанных институтом «Гипрогазоочистка» электрофильтрах типа ШМК с игольчатыми электродами (ШМК-6,6И; ШМК-9,6И).

Электрофильтр БВК-3,6 — вертикальный трубчатый однополюсный, в цилиндрическом корпусе, предназначенный для улавливания кислотного тумана из хвостовых газов башенных систем сернокислотного производства. Аппарат рассчитан на избыточное давление

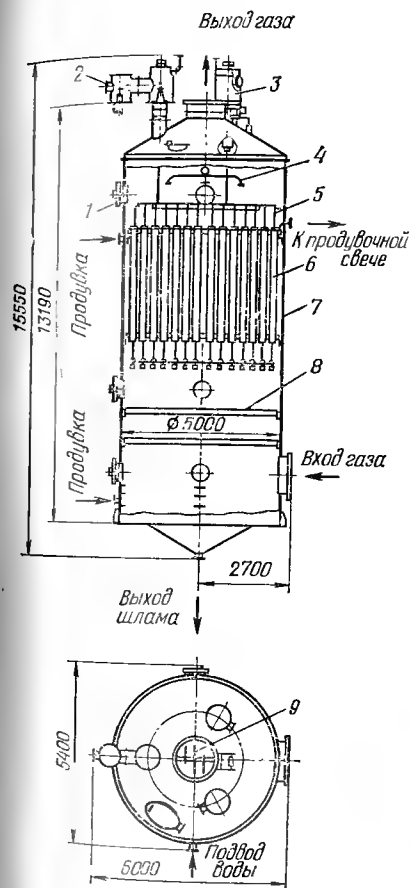


Рис. 4.34. Электрофильтр ПГ-8:

1 — люк обслуживания; 2 — защитная коробка для подвода тока; 3 — изоляционная труба; 4 — коллектор периодической промывки электродов; 5 — коронирующий электрод; 6 — осадительный электрод; 7 — корпус; 8 — газораспределительная решетка; 9 — дроссельный клапан

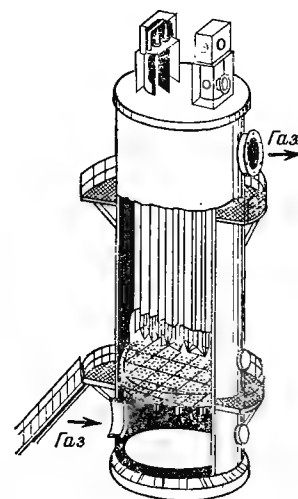


Рис. 4.35. Электрофильтр ШМК

ТАБЛИЦА 4.5

ТЕХНИЧЕСКИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ МОКРЫХ ТРУБЧАТЫХ
ЭЛЕКТРОФИЛЬТРОВ ТИПА С, ПГ И ДМ

Показатели	Марка электрофилтра				
	С-5,0	С-7,2	ПГ-8	ДМ-316	ДМ-600
Площадь активного сечения, м ²	5,0	7,2	7,8	13,3	25,0
Число секций, шт.	1	1	1	2	4
Число полей, шт.	1	1	1	1	1
Внутренний диаметр осадительного электрода, мм	250	250	250	230	230
Активная длина поля, м . .	3,5	3,5	3,5	4,5	4,5
Количество осадительных электродов, шт.	104	148	156	316	600
Активная длина коронирующих электродов, м	364	518	545	1420	2700
Расход воды на промывку, м ³ /ч:					
непрерывную	—	—	—	75—100	150—200
периодическую (на одну секцию)	—	—	120	200	200
Давление газа (расчетное), МПа	0,03	0,03	0,0008	0,25	0,25
Температура газа максимальная, °С	60	60	60	60	60
Размеры, м:					
диаметр корпуса	3,9	4,6	5,0	7,0	10,0
высота	13,3	16,2	15,5	21,8	27,4

500 Па и температуру до 40 °С. Осадительные электроды — стальные трубы с внутренним диаметром 260 мм. Коронирующие электроды системы БВК (без влияния кромок) выполнены из жестких элементов с продольными коронирующими ребрами. Элементы не выступают за нижний обрез осадительных электродов и закреплены только в верхней раме. Нижний конец каждого осадительного электрода снабжен кольцевым желобом для сбора и отвода осажденной кислоты во избежание вторичного уноса капель при срыве их с нижней кромки электрода. Применение электродов системы БВК позволяет поднять скорость газа в активном сечении до 2—3 м/с, однако электрофилтр может быть использован только в том случае, если улавливаемый туман не образует отложений на поверхностях электродов. В верхней части аппарата над активной зоной расположен коллектор с форсунками для периодической промывки электродов крепкой серной кислотой. Изоляторы системы коронирующих электродов выполнены с применением фторопластовых труб; корпус — стальной с кислотоупорной футеровкой.

Электрофилтры типа ЦМВТ — вертикальные трубчатые однопольные, предназначены для улавливания сернокислотного тумана из газов в производстве серной кислоты методом мокрого катализа. Корпус аппарата — цилиндрический, стальной, с кислотоупорной футеровкой.

ТАБЛИЦА 4.6

ТЕХНИЧЕСКИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ ЭЛЕКТРОФИЛЬТРОВ ТИПА ШМК

Показатели	Марка электрофилтра			
	ШМК-4,5	ШМК-6,6	ШМК-9,6	ШМК-14,6
Площадь активного сечения, м ²	4,5	6,6	9,6	14,6
Число секций, шт.	1	1	1	1
Число полей, шт.	1	1	1	1
Активная длина поля, м . . .	3,5	3,5	3,5	3,5
Общая площадь осаждения осадительных электродов, м ²	254	373	541	820
Размеры электрофилтра, м: . .				
наибольший диаметр корпуса	3,6	4,0	4,9	5,4
высота	12,55	12,85	13,80	14,40

Осадительные электроды — чугунные трубы с внутренним диаметром 250 мм; коронирующие электроды — звездчатой формы из ферросилидовых звеньев.

Поставка электрофилтров перечисленных типов осуществляется управлением по разработке и производству газоочистного и пылеулавливающего оборудования Минхиммаша по заявкам, оформленным в установленном порядке.

Комплектность поставки определяется договором на поставку и комплектационными ведомостями. Обычно в комплект поставки включается внутреннее оборудование электрофилтров (без корпусов), электрооборудование системы электрического питания (агрегаты питания, высоковольтный кабель, защитные сопротивления), а в ряде случаев и комплектующее оборудование установки, например пылевые затворы, газоотсекающие устройства и т. п. Корпуса электрофилтров, как правило, в объем поставки не включаются и изготавливаются на заводах металлоконструкций или непосредственно на монтажной площадке.

4.7. МЕТОДЫ РАСЧЕТА И ПОДБОРА ЭЛЕКТРОФИЛЬТРОВ

Степень очистки газов в электрофилтре можно рассчитать, если известны два любых компонента из трех: содержание пыли по массе в дымовых газах, поступающих в электрофилтр, $G_{вх}$, кг/с; содержание пыли по массе, уловленной аппаратом в единицу времени, $G_{ул}$, кг/с; содержание пыли по массе в очищенном газе, т. е. на выходе из филтра, $G_{вых}$, кг/с. В этом случае эффективность, %, определяется по одной из формул:

$$\eta = (G_{ул}/G_{вх}) 100; \quad (4.5)$$

$$\eta = G_{ул} \cdot 100 / (G_{ул} + G_{вых}). \quad (4.6)$$

На практике эффективность аппаратов обычно определяется, исходя из данных о концентрации пыли в газах, г/м³, и их объемных рас-

ходах, м³/с, на входе и выходе из электрофильтра ($Z_{вх}$, $Z_{вых}$, $V_{вх}$, $V_{вых}$), которые определяются любым, пригодным для данных условий методом:

$$\eta = \frac{Z_{вх} V_{вх} - Z_{вых} V_{вых}}{Z_{вх} V_{вх}} = 1 - \frac{Z_{вых} V_{вых}}{Z_{вх} V_{вх}}. \quad (4.7)$$

Однако такой способ оценки работы электрофильтра является относительным. На практике технологический расчет электрофильтра сводится к определению времени пребывания пылегазового потока в аппарате с учетом всех факторов, влияющих на процесс электрической фильтрации газов. Теоретическое выражение степени очистки газов в

электрофильтре было получено Дейчем [78]. Для пластинчатого аппарата формула имеет вид

$$\eta = 1 - e^{-\omega L / vH}; \quad (4.8)$$

для трубчатого фильтра

$$\eta = 1 - e^{-2\omega L / vR}, \quad (4.9)$$

где ω — скорость дрейфа частиц, см/с; L — длина энергетического поля, м; v — скорость газа в активном сечении аппарата, м/с; R — диаметр осадительного электрода, м.

При выводе формул (4.7) и (4.8) сделаны следующие допущения: движение частиц пыли в направлении осадительного электрода происходит с постоянной скоростью дрейфа частиц; скорость газового потока в электрофильтре постоянна; вторичный пылеунос отсутствует; закон распределения концентрации пыли для каждого поперечного сечения электрофильтра одинаков и не зависит от расстояния до входа в аппарат, т. е. выполняется условие

$$z_x / \bar{z}_x = \chi = \text{const},$$

где z_x — концентрация частиц у осадительного электрода в поперечном сечении аппарата, отстоящем на расстоянии x от входа в электрофильтр; $\bar{z}_x$ — средняя концентрация частиц в этом же сечении; χ — коэффициент неравномерного распределения частиц по сечению. В общем случае для любого электрофильтра можно записать

$$\eta = 1 - e^{-\omega f}. \quad (4.10)$$

Отношение $S/V=f$ называется удельной поверхностью осаждения и характеризует площадь осаждения, приходящуюся на 1 м³/с очищаемых газов, где S — поверхность осадительных электродов, м²; V — объемный расход очищаемых газов, м³/с.

Из формулы (4.10) видно, что для определения степени очистки электрофильтра необходимо знать его удельную поверхность осаждения, т. е. геометрические размеры аппарата, время пребывания газов в электрофильтре и значение скорости дрейфа частиц (рис. 4.36). На практике за величину скорости дрейфа рекомендуется принимать ее значение, полученное из опыта работы аппаратов в аналогичных или близких условиях. Например, при расчете электрофильтров для улавливания некоторых видов золы и пылей принимаются следующие значения скорости дрейфа частиц, см/с:

Зола угля

Кузнецкого СС	5,5
Донецкого промпродукта	5,5
Экибастузского	6,0—6,5
Донецкого ГСШ	7,0
Донецкого АШ	8,0—9,0
Подмосковного	10—12

Пыль

Магнезитовая	4,5—5,5
Доломитовая	6,5
Шамотная	8,5
Известняковая	8,5
Агломерационная (агломерационная машина)	9,9

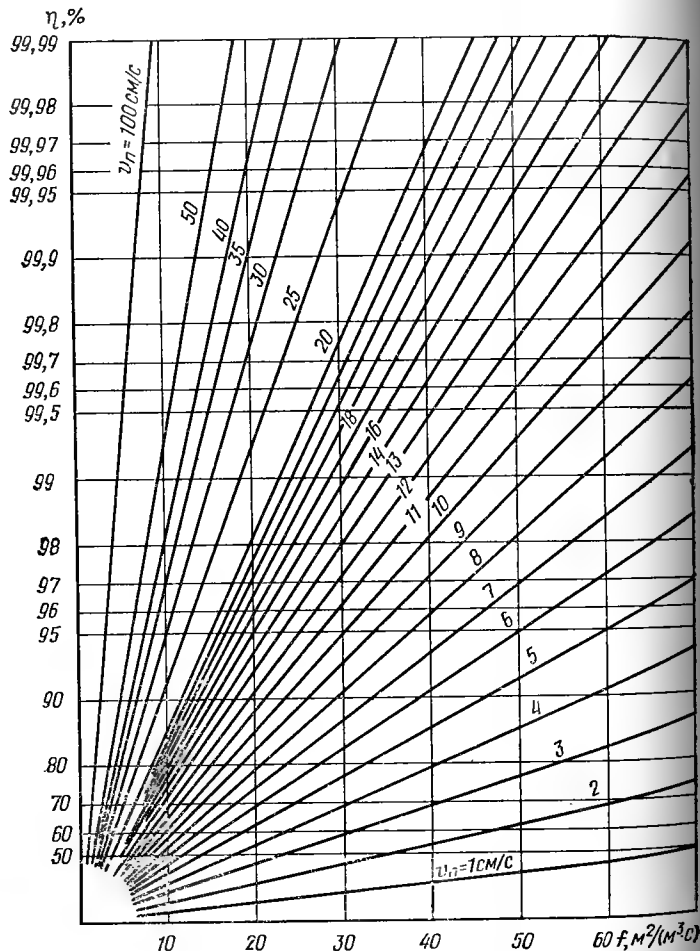


Рис. 4.36. Номограмма для проведения расчетов по формуле $\eta = 1 - e^{-\omega f}$

В общем случае f равно отношению общей площади осадительных электродов, m^2 , к объемному расходу фильтруемых газов, m^3/c . Зависимость степени очистки газов в аппарате от показателя ωf в формуле (4.10) иллюстрируют следующие данные:

Эффективность очистки η , %	60	80	90	95	97,5	98	99
Значения ωf	0,9	1,6	2,3	3,0	3,7	3,9	4,6

Величина ωf прямо пропорциональна размеру электрофильтра. Например, фильтр, рассчитанный на степень очистки 99 %, больше фильтра,

рассчитанного на степень очистки 90 %, в отношении: $4,6/2,3=2$. Для наглядности этих зависимостей ниже приведены значения основных параметров электрофильтра типа УГ при улавливании высокоомной магнезитовой пыли [24]:

Скорость газа в электрофильтре, м/с	0,7	0,9	1,12
Время пребывания газа в электрофильтре, с	13,0	10,1	7,6
Эффективная скорость дрейфа частиц см/с	4,8	4,9	6,8
Степень очистки газа, %	98,1	97,0	96,5

Однако приведенные зависимости могут служить лишь для ориентировочных расчетов. Для исключения ошибок делаются попытки унифицировать методы расчета электрофильтров. Одна из таких методик разработана Семибратовским филиалом НИИОгаза [79].

Методика, содержащая для расчета парциальной степени очистки экспоненциальную зависимость от скорости пылегазового потока, дает возможность учитывать влияние многих факторов, участвующих в процессе электрической фильтрации, в том числе проскока частиц через неактивные зоны аппарата, вторичного уноса частиц, неоднородности поля концентраций пылегазового потока, неравномерности газораспределения, а также влияния режимов питания электрофильтров током высокого напряжения.

В процессе расчетов, реализуемых с помощью ЭВМ, учитываются геометрические размеры электродной системы, средняя скорость газа и скорость дрейфа частиц у осадительного электрода. На рис. 4.37 приведена блок-схема расчета степени очистки

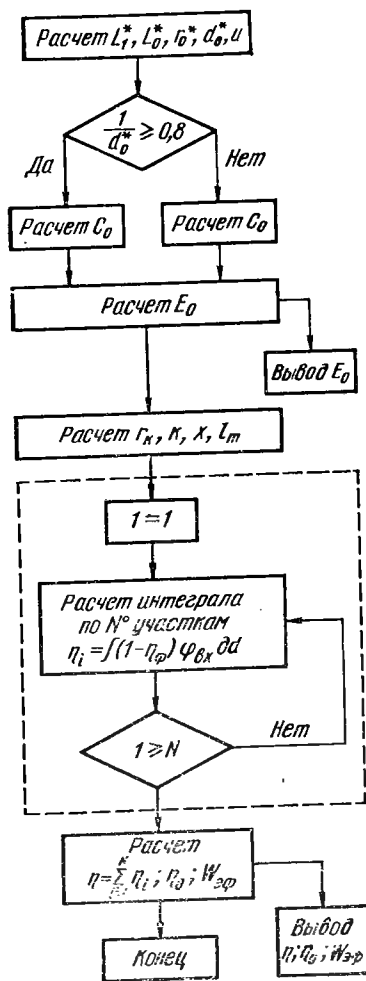


Рис. 4.37. Блок-схема расчета степени очистки газов электрофильтром на ЭВМ «Мир-2»

газов электрофильтром, выполненная на ЭВМ. Для расчета используются следующие основные параметры: L_1 — относительная длина электрофильтра; L_0 — относительная длина одного поля электрофильтра; r_0 — эквивалентный радиус коронирующего электрода, м; d_0 — относительное расстояние между коронирующими электродами; E_0 — напряженность электрического поля у коронирующего электрода, В; U — рабочее напряжение на электродах электрофильтра, В; η_ϕ — фракционная (парциальная эффективность) электрофильтра; N — число полей электрофильтра; $\omega_{\text{эф}}$ — эффективная скорость дрейфа частиц, см/с. На базе этой методики [79] разработан упрощенный вариант зависимости для расчета общей эффективности электрофильтра:

$$\eta = 1 - \exp(-K_{\text{ун}} A \beta^{0,42}), \quad (4.11)$$

где $K_{\text{ун}}$ — обобщенный коэффициент вторичного уноса; A и β — безразмерные параметры. Параметр β , аналогичный по структуре показателю экспоненты в формуле (4.10), вычисляется по формуле

$$\beta = \varepsilon_0 E^2 d_{50} L / (\omega k_0 \mu H), \quad (4.12)$$

где ε_0 — диэлектрическая постоянная, $K^2/(H \cdot m^2)$; E — напряженность поля у осадительного электрода, В/м; d_{50} — медианный диаметр частиц, м; L — активная длина электрофильтра, м; ω — средняя скорость газа в активном сечении, м/с; k_0 — коэффициент неравномерности газораспределения; μ — динамическая вязкость газа, Н·с/м²; H — расстояние между коронирующим и осадительным электродом, м. Параметр A зависит от отношения площадей активной и неактивной зон электрофильтра F^* , среднего квадратичного отклонения размеров частиц σ и параметра k :

$$k = \frac{T}{d_{50}} \left(\frac{4,15 \cdot 10^{-7}}{p} + \frac{5,47 \cdot 10^{-4}}{E} \right), \quad (4.13)$$

где T — температура газа, К; p — давление газа, мм. рт. ст. Значения параметра A определяются по графикам (рис. 4.38, а) для $F^*=0,91$ (электрофильтры типа УГ) или (рис. 4.38, б) для $F^*=1$ (электрофильтры, в которых неактивные зоны отсутствуют или надежно перекрыты для прохода газа). Для электрофильтров, в которых значения F^* отличаются от этих величин, эффективность может быть рассчитана по формуле

$$\eta = 1 - F^* \exp(-K_{\text{ун}} A \beta^{0,42}) - (1 - F^*) \exp(-K_{\text{ун}} A \beta^{0,42/4}), \quad (4.14)$$

где значения параметра A принимаются из условия $F^*=1$.

Обобщенный коэффициент вторичного уноса для пылей с удельным электрическим сопротивлением $5 \cdot 10^6 \leq \rho \leq 5 \cdot 10^8$ Ом·м определяется из выражения

$$K_{\text{ун}} = 1 - 0,275 k_1 k_2 k_3, \quad (4.15)$$

где k_1 — коэффициент относительной высоты осадительных электродов:

$$k_1 = (h/h_0)^{0,51}, \quad (4.16)$$

k_2 — коэффициент относительной скорости газа:

$$k_2 = (\omega/\omega_0)^{0,35}, \quad (4.17)$$

k_3 — коэффициент относительной пылеемкости электродов:

$$k_3 = \exp(-1,72m/m_0). \quad (4.18)$$

Коэффициенты k_1 , k_2 , k_3 определяются с учетом соответствующих базовых значений $h_0=8$ м; $\omega_0=1$ м/с; $m_0=1$ кг/м². Средняя погрешность расчета уноса пыли из электрофильтра $(1-\eta)$ по приведенной методике не превышает 20 % экспериментально измеренного уноса для пылей второй группы, т. е. при отсутствии обратной короны в электрофильтре (см. ниже). Однако следует иметь в виду, что приведенные зависимос-

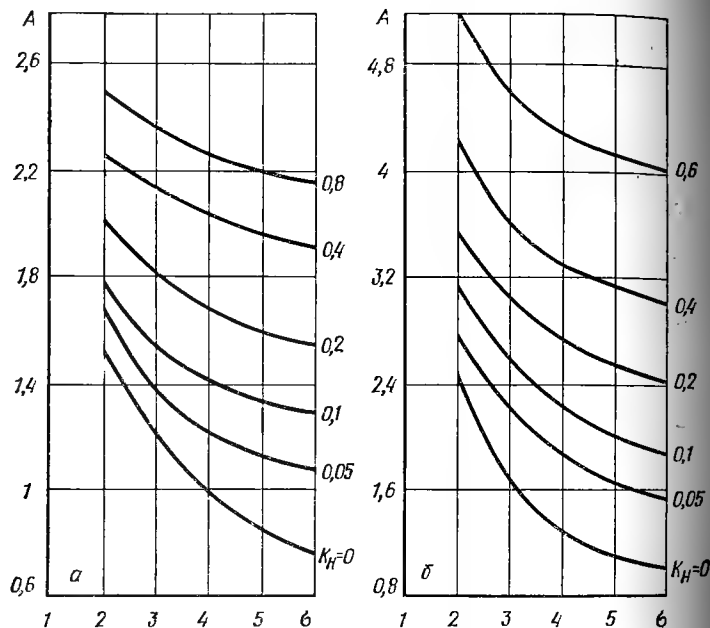


Рис. 4.38. Зависимость параметров A от K и σ :

a — для $F^*=0,91$; b — для $F^*=1$

ти для расчета эффективности электрофильтров выведены на основании данных о работе действующих электрофильтров, имеющих определенную конструкцию и работающих в конкретных условиях. Поэтому применение их ограничено и не может быть автоматически перенесено на электрофильтры других типов.

В последние годы наметилась практика выдачи гарантийных характеристик эффективности электрофильтра в зависимости от параметров конкретного технологического процесса.

Например, для улавливания золы лигнитов, характеризующихся $Q_p^p=9,6 \div 11,3$ МДж/кг; $A_p=48 \div 54$ %; $W_p=6 \div 10$ %; $V_p=50$ %; $S_p=2 \div 2,7$ %, фирма «Лурги» (ФРГ) гарантирует степень очистки 99,5 %, однако вводит поправки: k_1 — на содержание горючих веществ в золе, k_2 — на температуру газов, k_3 — на концентрацию золы на входе в

электрофильтр, k_4 — на содержание CO_2 в газах (избыток воздуха). Общий коэффициент коррекции определяется по формуле: $K=k_1k_2k_3k_4$, причем это произведение не должно быть менее 0.7. Степень очистки определяется в зависимости от коэффициента K и расхода газов V по графику на рис. 4.39 [2, 80].

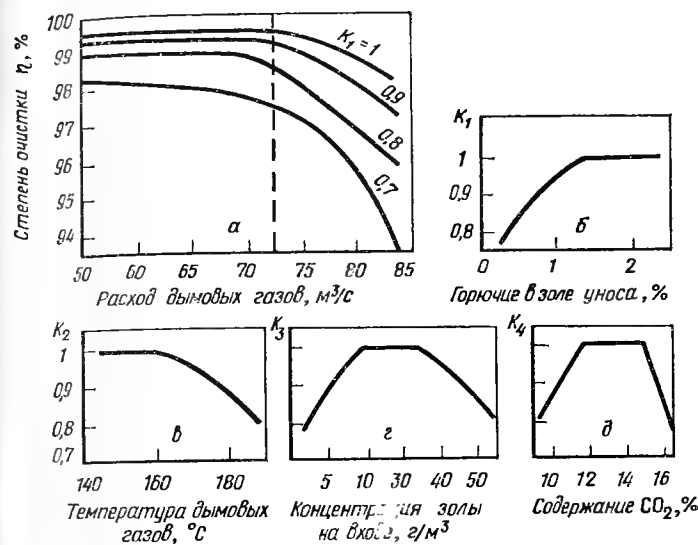


Рис. 4.39. Гарантийные характеристики электрофильтра:

a — η ; b — K_1 ; c — K_2 ; d — K_3 ; e — K_4

4.8. ФАКТОРЫ, ВЛИЯЮЩИЕ НА ЭФФЕКТИВНОСТЬ РАБОТЫ ЭЛЕКТРОФИЛЬТРОВ

Общие положения

Для большинства технологических процессов определить расчетным путем эффективность работы электрофильтра можно лишь приблизительно по формуле (4.10). Прогнозирование эффективности электрофильтра на основании теоретических предпосылок или механическое копирование аппаратов, работающих в каких-либо одинаковых условиях, приводит к существенным ошибкам. Поэтому вопросы выбора оптимального типоразмера аппарата зависят главным образом от опыта привлекаемых к этому специалистов. К числу наиболее важных факторов, которые определяют эффективность процесса электрической фильтрации, загрязненных газов, относятся: скорость газа в активной зоне электрофильтра, температура и влажность газопылевого потока, физико-химические свойства пыли или золы, вид сжигаемого топлива и др.

Приведенные ниже зависимости позволяют оценить влияние основных факторов на эффективность работы электрофильтров. При этом

необходимо учитывать, что электрофилтры являются высокоэффективными аппаратами и работают в той области значений полного коэффициента очистки, где его изменение на 2—3 % может привести к изменению остаточной запыленности газов в несколько раз; стоимость электрогазоочистной установки находится в быстро возрастающей зависимости от степени очистки газов (рис. 4.40).

Влияние скорости газа

Скорость газа в активной зоне электрофилтра (рис. 4.41) определяет время пребывания частиц в аппарате. Теоретические зависимости эффективности филтра от скорости газа не отражают действительной

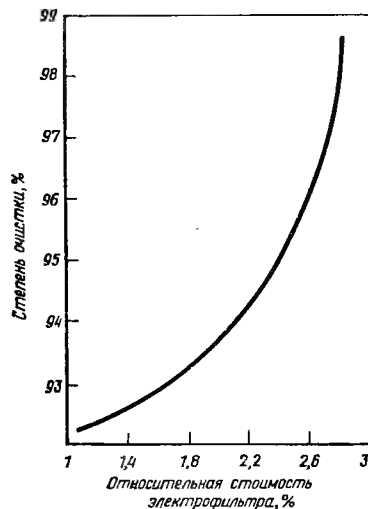


Рис. 4.40. Относительная стоимость электрогазоочистной установки в зависимости от степени очистки

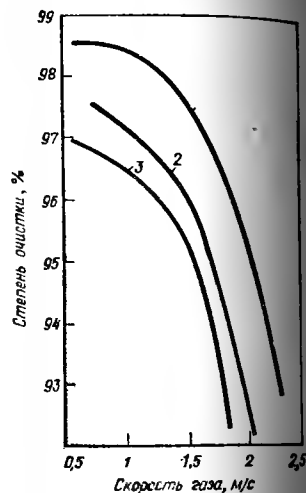


Рис. 4.41. Зависимость степени очистки электрофилтра от скорости газа:

1 — электрофилтр УГ; 2 — электрофилтр ПГД; 3 — электрофилтр ДВП

картины. С повышением скорости эффективность аппарата снижается из-за увеличения вторичного уноса. Кроме того, при увеличении скорости растет турбулентность потока, что также отражается на эффективности.

В зависимости от характеристик газопылевого потока время пребывания частиц в электрофилтре составляет 5—13 с. Этот показатель является одним из основных, так как он отражает габариты, металлоемкость и стоимость филтра. Меньшие значения времени пребывания принимаются при низких концентрациях взвешенных частиц в газе, более совершенной системе питания и встряхивания, подготовке (кондиционировании) газа, тщательном выравнивании потока в аппарате. Все это позволяет более эффективно использовать активную зону электрофилтра.

Достижение оптимальных технико-экономических показателей электрофилтров рассмотренных конструкций возможно: для сухих аппаратов с плоскими осадительными электродами и для вертикальных электрофилтров при скорости газа 0,8—1,0 м/с; для горизонтальных электрофилтров с профилированными электродами при скорости газа 1,2—1,5 м/с.

При выборе производительности электрофилтра следует иметь в виду, что предусмотренные различными нормами подсосы воздуха редко выдерживаются в промышленных установках. Это приводит к увеличению расхода газа по сравнению с проектными величинами и, как следствие, к резкому ухудшению эффективности электрофилтра.

Влияние температуры и влажности газопылевого потока

Влияние температуры газов на эффективность работы электрофилтра (рис. 4.42, а) объясняется следующими соображениями. Снижение температуры газов, во-первых, уменьшает их вязкость, т. е. сопротивление движению заряженных частиц к осадительному электроду; во-вторых, увеличивает электрическую прочность разрядного промежутка; в-третьих, снижает величину удельного электрического сопротивления пыли. Значительное снижение температуры газов влияет на эффективность работы электрофилтра вследствие снижения скорости газа в активной зоне аппарата [24]. Зависимость скорости дрейфа частиц от температуры (рис. 4.42, б) показывает, что с ростом температуры кривая имеет отрицательный наклон.

При улавливании золы подмосковного угля высокая эффективность электрофилтра достигается при температуре 130—140 °С. Например, на ТЭЦ-17 Мосэнерго снижение температуры газов со 180 до 130 °С привело к увеличению к. п. д. электрофилтра ДВП с 91 до 96 %; скорость газа в электрофилтре снизилась с 1,8 до 1,5 м/с.

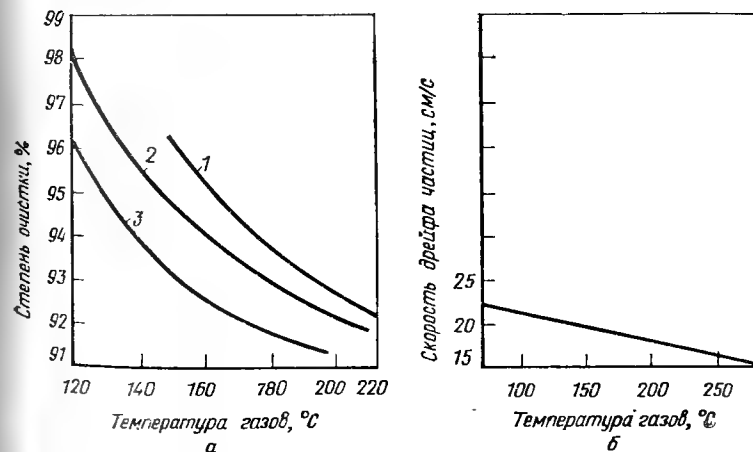


Рис. 4.42. Факторы, влияющие на эффективность электрофилтра:

а — зависимость степени очистки от температуры; 1 — электрофилтр ДВП (зола подмосковного угля); 2 — электрофилтр УГ (цементная пыль); 3 — электрофилтр ПГД (шамотная пыль); б — зависимость дрейфа частиц от температуры газов (скорость газов в электрофилтре 1,8 м/с)

ТЕМПЕРАТУРА ТОЧКИ РОСЫ ДЛЯ РАЗЛИЧНЫХ ВИДОВ ТОПЛИВА

Температура	Подмосков- ный уголь	Донецкий тощий уголь	Киселевский уголь	Сланец эстон- ский	Мазут сер- нистый	Донецкий АШ
Точка росы, °C	142,5	125	138	78—81	120	107
Конденсация во- дяных паров, °C	44,7	31	38	46	43	32

Наблюдаемое в последнее время увеличение к. п. д. электрофильтров при улавливании золы каменных углей является следствием постоянного стремления к снижению температуры дымовых газов. Так, за последние 15—20 лет температура дымовых газов была снижена почти на 50° (со 180 до 135 °C). Применение низких температур дает возможность решать проблемы ликвидации обратной короны независимо от типа сжигаемого угля. Этот эффект объясняют тем, что низкие температуры соответствуют или даже находятся ниже точки росы для кислоты, содержащейся в дымовых газах. В результате серный ангидрид адсорбируется частицами золы и ее электропроводность возрастает, а концентрация серного ангидрида в газах снижается. Однако снижение температуры газа и увеличение содержания серного ангидрида в золе приводит к ухудшению адгезионных характеристик золы; находясь на осадительном электроде, она труднее стравливается.

Снижение температуры газов перед электрофильтром также достигается путем пропускания их через скруббер Вентури с каплеуловителем. Однако здесь возникает опасность коррозии электрофильтра [8].

Во всех случаях не рекомендуется применять способ снижения температуры газов за счет разбавления их атмосферным воздухом путем организованного подсоса. В этом случае увеличивается абсолютное количество газов, снижаются их объемное влагосодержание (что особенно вредно при критических значениях удельного электрического сопротивления пыли), в результате чего эффективность электрофильтра снижается.

Влияние вида топлива или перерабатываемого сырья

Вид сжигаемого топлива в значительной степени определяет эффективность работы электрофильтра. Для обеспечения нормального протекания процесса электрической фильтрации газов необходимо учитывать физико-химические свойства топлива или сырья и технологию его сжигания и переработки. Создать универсальный электрофильтр, который бы эффективно работал при сжигании различных видов топлива, можно только в том случае, если его конструкция будет рассчитана с большим запасом, что с экономической точки зрения нецелесообразно. Поэтому требуется тщательный анализ соответствующих характеристик угля и сырьевых материалов. Например, при сжигании донецких углей марки АШ из-за повышенного количества недогоревшего топлива электрофильтры часто работают с низкой эффективностью.

Присутствие в дымовых газах серного ангидрида сильно повышает температуру их точки росы по сравнению с температурой, соответствующей конденсации водяных паров. Данные, характеризующие температуру точки росы для некоторых видов топлива, приведены в табл. 4.7.

Для многих топлив действительная температура точки росы дымовых газов почти на 100 °C превышает температуру, соответствующую началу конденсации чистых водяных паров в том же газе. Следовательно, в хвостовой части котла и в особенности в электрофильтрах вследствие больших подсосов холодного воздуха температура газов может быть ниже точки росы, что вызывает конденсацию паров серной кислоты даже на частицах до осаждения их на электродах.

При отоплении вращающейся печи для обжига магнезита и доломита природным газом улавливание пыли в электрофильтре протекает нормально, а возникающая обратная корона подавляется кондиционированием пылегазового потока паром или водой. При переводе печи на отопление высокосернистым мазутом процесс электрической фильтрации нарушается, в результате чего степень очистки снижается до 90 % [40,

2]. Исследования показали, что при этом электроды фильтра покрываются плотным трудноотриваемым слоем магнезитовой пыли, в результате чего кампания электрофильтра составляет 25—30 сут, после чего для очистки электродов требуется остановка аппарата.

Анализ пыли с электродов показал, что в ней содержится до 6 % $MgSO_4$. Сернистые соединения, вступая в реакцию с MgO , образуют на электродах слой, близкий по своим свойствам к цементу Сореля.

Влияние концентрации и дисперсности частиц

Эти параметры пыли влияют на зарядку частиц. При больших входных концентрациях частиц их объемный заряд оказывает существенное влияние на характеристики коронного разряда; при определенных условиях происходит затухание тока короны, т. е. возникает явление, называемое запылением короны. Решающую роль в данном случае играет счетная концентрация частиц — их количество в единице объема. Поэтому в случае очень мелких частиц запыление короны может происходить даже при сравнительно небольших весовых концентрациях; наоборот, в случае крупных частиц электрофильтр может работать при относительно их большой входной концентрации. Результатом запыления короны являются недозарядка частиц и соответствующее снижение эффективности работы электрофильтра.

Расчет электрофильтра, работающего в условиях высоких входных концентраций частиц, вызывающих запыление короны, производится путем определения дополнительного участка электрофильтра, компенсирующего ту его часть, которая фактически исключается из нормального процесса из-за запыления короны. Вместо расчетного увеличения активной длины электрофильтра может быть соответственно снижена скорость газа в электрофильтре, чтобы обеспечить увеличенное время пребывания газа в аппарате.

Условия, при которых следует учитывать влияние входной концентрации частиц на эффективность работы электрофильтра, определяются сравнением параметров дисперсной фазы: обобщенного параметра дисперсной фазы на входе $D_{вх}$ и запирающего параметра дисперсной фазы $D_{зап}$. Учет влияния дисперсной фазы необходимо производить при $D_{вх}/D_{зап} \geq 3$ [79]. Для летучей золы теплоэлектростанций условия запыления короны практически соответствуют входной запыленности 30—40 г/м³ при нормальных условиях.

Для предотвращения запыления короны перед электрофильтром и для уменьшения входной запыленности в электрофильтре устанавливается дополнительная механическая ступень очистки газа. Однако в та-

кой предварительной ступени улавливаются, как правило, относительно крупные частицы и счетная концентрация частиц снижается недостаточно. Поэтому в большинстве случаев целесообразнее для компенсации снижения эффективности из-за запыления короны увеличить размеры электрофильтра, т. е. установить дополнительную ступень очистки газа.

Размеры улавливаемых частиц существенно влияют на скорость их дрейфа. Для частиц размером от 1 до 20 мкм скорость дрейфа прямо пропорциональна их диаметру и соответственно повышается эффектив-

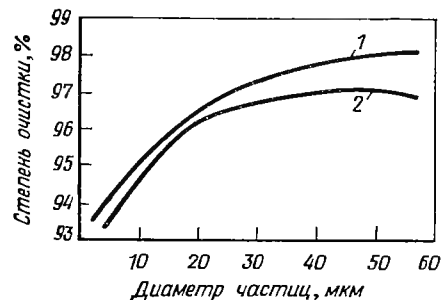


Рис. 4.43. Зависимость степени очистки электрофильтра от размера частиц:

1 — электрофильтр пластинчатый ($v=1,6$ м/с); 2 — электрофильтр грубого ($v=2,0$ м/с)

ность улавливания. При дальнейшем увеличении размеров частиц скорость дрейфа замедляется, поэтому значительного повышения эффективности не наблюдается. Что касается частиц крупностью менее 1 мкм, то для них преобладающее значение приобретают диффузионные процессы, в связи с чем наблюдается некоторое увеличение скорости дрейфа при уменьшении диаметра частиц. Установлено, что зависимость скорости дрейфа от размера частиц имеет минимум в диапазоне диаметров частиц 0,1—0,3 мкм [81, 82]. В общем случае зависимость степени очистки электрофильтра от размера частиц характеризуется кривой на рис. 4.43.

Влияние удельного электрического сопротивления пыли

Величина удельного электрического сопротивления (УЭС) слоя пыли на электродах электрофильтра является одним из важных факторов, влияющих на эффективность работы сухих электрофильтров. Существует критическое значение УЭС пыли, при котором к. п. д. аппарата резко снижается. Это происходит вследствие появления обратной короны или за счет большого падения напряжения на слое высокоомной пыли, находящейся на осадительном электроде (рис. 4.44).

Зависимости УЭС пылей и золы от температуры, измерения при постоянной влажности [17], приведены на рис. 4.45. В интервале температур 50—200 °C частицы пыли теряют адсорбированную влагу и за счет снижения поверхностной проводимости УЭС пыли повышается. Дальнейшее повышение температуры (200—400 °C) приводит к уменьшению электрического сопротивления слоя пыли вследствие теплового возбуждения электронов. Следовательно, кривые на рис. 4.45 отражают два существенно различных вида электропроводности: поверхностную в диапазоне низких температур и внутреннюю при высоких температурах. Значения УЭС промышленных пылей приведены в гл. 8.

Нормальным режимом работы электрофильтра является поддержание на его электродах максимально возможного напряжения. По ме-

ре увеличения напряжения в зависимости от величины УЭС пыли в электрофильтре происходят следующие процессы. Частица пыли, достигнув поверхности осадительного электрода, может сразу отдать свой заряд и оторваться или оставаться там, медленно разряжаясь. При этом значение электрической силы, прижимающей частицу к электроду, зависит от удельного электрического сопротивления слоя:

$$F_0 = \frac{1}{2} \epsilon_0 \left[E^2 - \left(\frac{j \rho \epsilon_1}{\epsilon_0} \right)^2 \right],$$

где F_0 — электрическая сила, отнесенная к единице площади осадительного электрода; ϵ_0, ϵ_1 — диэлектрическая проницаемость среды и

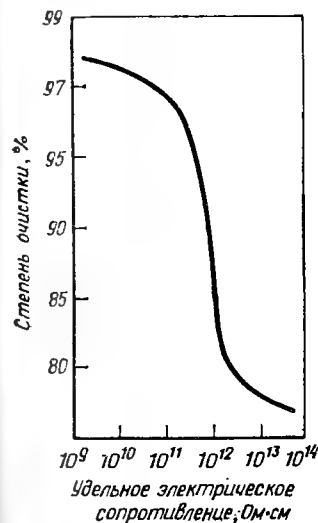


Рис. 4.44. Зависимость степени очистки электрофильтра от удельного электрического сопротивления пыли

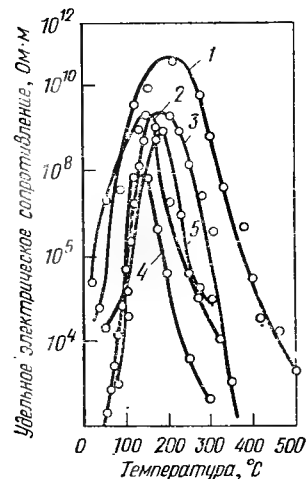


Рис. 4.45. Зависимость удельного электрического сопротивления пыли от температуры при постоянной влажности:

1 — магнезитовая пыль; 2 — известняковая пыль; 3 — доломитовая пыль; 4 — шамотная пыль; 5 — цементная пыль

пыли; E — напряженность потенциала поля, кВ/см; j — плотность тока, А/м²; ρ — удельное электрическое сопротивление, Ом·м. При $E = (j \rho \epsilon_1 / \epsilon_0) F_0 = 0$, следовательно,

$$E < \frac{j \rho \epsilon_1}{\epsilon_0}, F_0 < 0;$$

$$E > \frac{j \rho \epsilon_1}{\epsilon_0}, F_0 > 0.$$

Таким образом, значение и знак F_0 при прочих равных условиях определяются удельным электрическим сопротивлением. В связи с этим все пыли по удельному сопротивлению разделяются на три группы [24]. Частицы пыли, имеющие удельное сопротивление меньше 10^8 Ом·м

(1-я группа), легко разряжаются и, приобретая одноименный с осадительными электродами заряд, отрываются от поверхности и попадают в газовый поток, способствуя увеличению вторичного уноса. Примером такой пыли могут служить частицы недогоревшего топлива (недожог) в дымовых газах котельных агрегатов, плохо улавливаемые в электрофильтрах.

Частицы пыли с удельным сопротивлением 10^4 — 10^{10} Ом·м (2-я группа) удовлетворительно улавливаются в электрофильтрах. При осаждении на электроде эти пыли разряжаются не сразу, а через некоторое время, достаточное для накопления слоя и формирования из мелких осажденных частиц агломератов под действием электрических и аутогезионных сил. Размер агломератов обычно таков, что основная часть пыли при встряхивании электродов попадает в бункер электрофильтра и только небольшое количество уносится газовым потоком, образуя вторичный унос. К таким пылям можно отнести огарковую (при производстве серной кислоты в печах с кипящим слоем) и цементную пыль (при производстве цемента мокрым способом).

При УЭС пыли выше 10^{10} Ом·м (3-я группа) возникают наибольшие трудности, нарушающие протекание процесса электрической фильтрации. На осадительном электроде образуется пористый изолирующий слой. При превышении некоторого критического значения напряженности электрического поля в слое происходит электрический пробой пористого слоя, в результате которого образуется тонкий канал, заполненный положительными ионами. Канал выполняет роль острия, с которого развивается мощный обратный коронный разряд, действующий навстречу основному. Эффективность электрофильтра, работающего в условиях обратной короны, резко снижается.

Снижение эффективности объясняется уменьшением электрического заряда частиц за счет их частичной перезарядки в зоне короны обратного знака; снижением пробивного напряжения, достигающим в отдельных случаях 50 %; деформацией электрического поля в межэлектродном пространстве, вызывающей существенное уменьшение скорости дрейфа частиц.

Возникновение обратной короны и ее интенсивность обуславливаются не только удельным электрическим сопротивлением слоя пыли, но также толщиной слоя пыли на электроде и удельной плотностью тока короны. Поэтому даже при известном удельном электрическом сопротивлении пыли нельзя однозначно прогнозировать условия возникновения короны без учета влияния конструктивных элементов электродной системы и условий встряхивания электродов.

Появление обратной короны в электрофильтре можно проследить по вольт-амперной характеристике сравнением восходящей ветви, измеренной при последовательном повышении напряжения до максимального, и нисходящей ветви при снижении напряжения до полного затухания короны (рис. 4.46). Несовпадение этих характеристик (рис. 4.46, а) указывает на то, что электрофильтр работает в режиме обратной короны. При равных уровнях напряжения токи на обеих ветвях вольт-амперной характеристики определяются интенсивностью обратной короны в предыдущей ее точке ввиду большой постоянности времени разряда слоя: $\tau = RC$, где R — сопротивление слоя, Ом; C — емкость слоя, Ф. Поскольку на нисходящей ветви в каждой предыдущей точке эта интенсивность больше, то ветвь идет выше восходящей.

По мере увеличения влажности пылегазового потока интенсивность обратной короны снижается (рис. 4.46, б). При достижении влажности $f = 72$ г/м³ (УЭС пыли 10^{11} Ом·см) обратная корона в электрофильтре практически ликвидируется (рис. 4.46, в), о чем свидетельствует

совпадение восходящей и нисходящей ветвей вольт-амперной характеристики. Удельное электрическое сопротивление можно уменьшить, снизив температуру газа. Если же это по каким-либо причинам невозможно, то можно приблизить температуру точки росы к рабочей температуре увеличением в газах компонентов, повышающих эту точку: водяных паров, серного ангидрида и др.

В ряде случаев для обеспечения требуемой степени очистки газа приходится специально кондиционировать газ, увеличивая его влажность или добавляя в небольших количествах серный ангидрид, если последний не связывается улавливаемым продуктом, или аммиак. Вы-

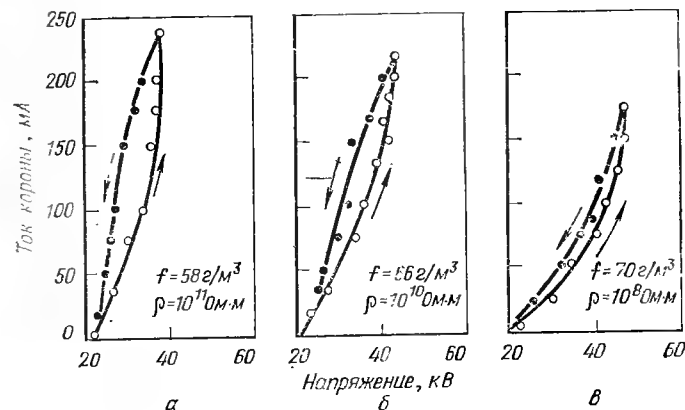


Рис. 4.46. Вольт-амперные характеристики электрофильтра, работающего в режиме интенсивной короны (а), со слабовыраженной обратной короной (б), без обратной короны (в)

бор количества и вида кондиционирующего реагента (вода, пар, серный ангидрид, поташ, аммиак и др.), а также способа подачи его в газодод определяется в процессе проектирования в зависимости от физико-химических свойств пылегазового потока.

Влияние вторичного уноса

Унос пыли из электрофильтра играет заметную роль в работе электрофильтра. Унос происходит при падении пыли в бункер в процессе встряхивания электродов, самопроизвольного обрушения и выноса пыли из бункера. Кроме того, существует унос пыли при переполнении бункера, а также унос при осаждении частиц в результате их перезарядки, рикошета и эрозии слоя. Учитывая постоянно повышающиеся требования к очистке промышленных газов и соответственно высокую эффективность современных электрофильтров, следует иметь в виду, что процессы вторичного уноса в ряде случаев становятся факторами, определяющими эффективность сухого электрофильтра, поскольку однократное осаждение частиц в таких электрофильтрах осуществляется с большой степенью вероятности.

Установлено [83], что срыва частиц из осажденного слоя при обдуве его незапыленным потоком при скорости до 3 м/с не происходит, однако, если на слой действует запыленный поток, происходит выбивание (эрозия) осажденных частиц из слоя крупными частицами, находящи-

мися в потоке. Унос частиц при осаждении пропорционален кинетической энергии их движения E_k , Дж:

$$E_k = 0,26d^3 \omega p,$$

где d — медианный диаметр осаждаемой частицы, мкм; ω — скорость частицы, м/с; p — плотность материала частицы, кг/м³.

Анализ данных показывает, что унос при осаждении значительно снижает эффективность очистки газов, если крупность основной массы частиц на входе превышает 20—30 мкм. Таким образом, можно объяснить имеющие место в ряде случаев аномально низкие значения степени очистки газов в электрофильтрах (или в их первых полях) при улавливании крупной пыли, которая должна улавливаться наиболее эффективно.

Пыль от электродов отрывается в виде достаточно крупных агрегатов. Однако при отрыве от электрода после удара (при встряхивании) и в результате столкновений агрегатов между собой и с электродами при падении в бункер происходит дезагрегирование части пыли, а после падения в бункер образуется вторичное пылевое облако, чем и объясняется захват дезагрегированных частиц газовым потоком. Решающее влияние на унос при прочих равных условиях оказывает пылеемкость осадительного электрода — масса пыли на единице его поверхности перед встряхиванием.

Увеличение пылеемкости электрода значительно снижает вторичный унос при встряхивании. Однако при превышении некоторого значения пылеемкости наблюдается самообрушение слоя осажденной пыли, что приводит к возрастанию уноса. Таким образом, при определенной величине пылеемкости электрода суммарный унос при встряхивании и самообрушении является минимальным. Вместе с тем следует учитывать, что накопление слоя на электродах ухудшает электрический режим электрофильтра, особенно при улавливании высокоомной пыли. Поэтому оптимальная пылеемкость электрода m_0 должна выбираться с учетом того, чтобы ухудшение улавливания за счет ухудшения электрического режима компенсировалось снижением уноса пыли при встряхивании.

Оптимальный интервал встряхивания, т. е. паузы между ударами по одному и тому же осадительному электроду, мин, рассчитывается по следующей зависимости:

$$\tau = 16,7 S_{\Pi} m_0 / (V z_{вх} \eta), \quad (4.19)$$

где S_{Π} — площадь осаждения поля, м²; V — количество газов, поступающих в поле, м³/с; $z_{вх}$ — запыленность на входе в поле, г/м³; η — степень очистки газов полем электрофильтра.

При проектировании новых и модернизации существующих электрогазоочистных установок абсолютную величину интервалов встряхивания электродов любого поля, мин, можно определить по формуле

$$\tau = 16,7 \frac{S_{\Pi} m_0}{Q z_{вх} \left(1 - \frac{N}{1 - \eta_{б.в}}\right)^{\frac{N}{n}} \left(1 - \eta_{б.в}\right)^{n-1}}, \quad (4.20)$$

где N — число полей в электрофильтре; n — порядковый номер поля; $\eta_{б.в}$ — степень очистки электрофильтра без встряхивания электродов.

Вместо расчетов по формуле (4.20) можно пользоваться номограммой (рис. 4.47), на которой приведена зависимость степени очистки газов полем электрофильтра η_{Π} от общей степени очистки газов $\eta_{б.в}$ для аппаратов с числом полей $N=2-4$. Если имеется возможность опреде-

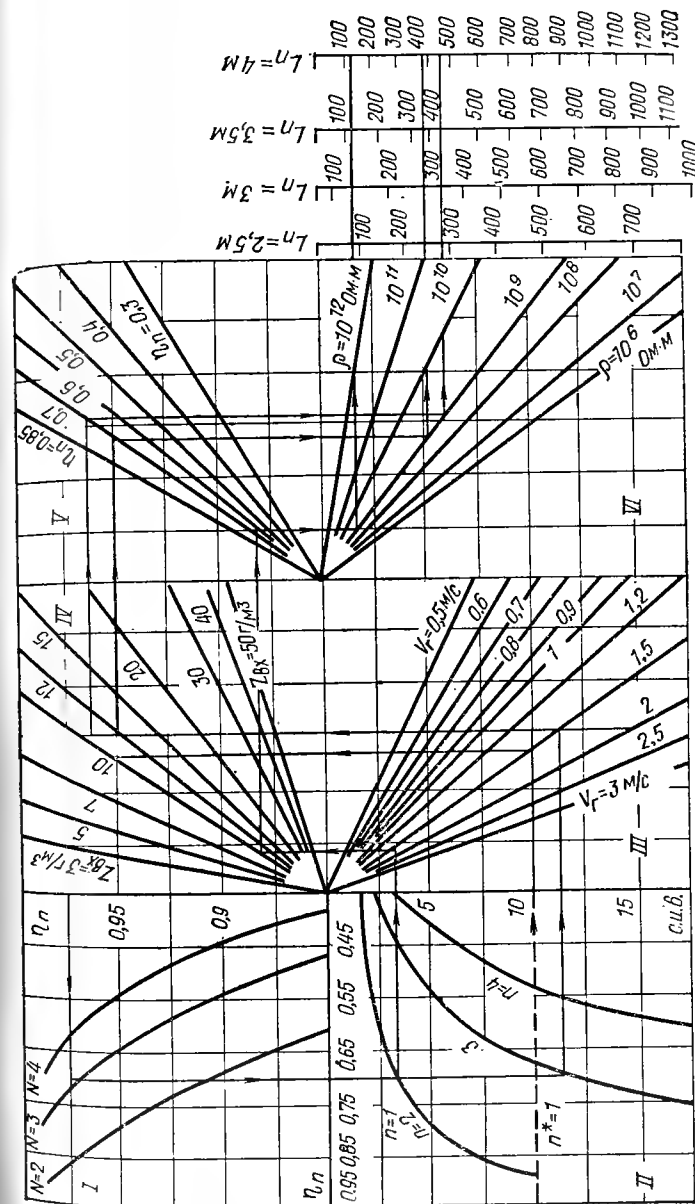


Рис. 4.47. Номограмма для определения интервалов встряхивания осадительных электродов электрофильтров

ТАБЛИЦА 4.8

РЕКОМЕНДУЕМЫЕ ИНТЕРВАЛЫ ВСТРЯХИВАНИЯ ОСАДИТЕЛЬНЫХ ЭЛЕКТРОДОВ ЭЛЕКТРОФИЛЬТРОВ В ЗАВИСИМОСТИ ОТ ВЕЛИЧИНЫ УДЕЛЬНОГО ЭЛЕКТРИЧЕСКОГО СОПРОТИВЛЕНИЯ (УЭС)

УЭС, Ом·м	Концентрация пыли, г/м³	Рекомендуемые интервалы встряхивания, мин			Степень очистки, %
		1-е поле	2-е поле	3-е поле	
10 ¹¹	20	5	15	45	96
		4	20	95	99
		3	7	22	96
10 ⁹	40	3	10	47	99
		21	68	220	97
		19	86	404	99
10 ⁸	10	4	11	37	97
		3	14	67	99
		40	129	416	97
10 ⁸	60	35	162	750	99
		7	21	69	97
		5	27	126	99

лнить количество пыли, уловленной полем, и, следовательно, величину η_n , пользование номограммой начинается с квадранта II, с помощью которого учитывается величина соотношения интервалов встряхивания для соответствующего поля ($n=1 \div 4$). При определении интервалов для первого поля необходимо использовать линию $n^*=1$, при этом полученное значение следует уменьшить в 10 раз.

Учет скорости газов в электрофилт্রে и входной запыленности производится в квадрантах III и IV. В квадранте V повторно учитывается величина η_n , значение которой берется с оси абсцисс квадранта I. Для удобства пользования номограммой в квадранте VI нанесены значения удельного сопротивления и соответствующие значения пылеемкости. Значение интервала встряхивания определяется по шкалам τ , мин, для длины полей $L_n=2,5; 3,0$ и $4,0$ м.

Номограмма построена для электрофильтров УГ, где стандартное расстояние между коронирующими и осадительными электродами 0,137 м. В качестве примера на номограмме определены интервалы встряхивания электрофилтра ЭГ-3-17 для следующих параметров: длина полей $L_n=4$ м; скорость газов $W_r=1,41$ м/с; число полей $N=3$; входная запыленность $z_{хв}=10,5$ г/м³; удельное электрическое сопротивление $\rho=10^9$ Ом·м; степень очистки газов $\eta_{г.н}=0,97$; $\tau_2=130$ мин; $\tau_3=480$ мин; $\tau_1=40$ мин (уменьшено в 10 раз) [83].

Применение оптимального периодического встряхивания вместо непрерывного позволило в ряде случаев снизить выбросы в 2–3 раза. При реализации периодического встряхивания следует иметь в виду увеличение нагрузки на систему пылетранспорта, поскольку однократный сброс пыли в бункере значительно увеличивается, что приведет к перегрузке механизмов. В табл. 4.8 приведены рекомендуемые интервалы встряхивания осадительных электродов электрофильтров в зависимости от величины УЭС.

4.9. АГРЕГАТЫ ПИТАНИЯ, ПОДСТАНЦИИ И ВЫСОКОВОЛЬТНЫЕ КАБЕЛИ

Системы регулирования тока и напряжения

Агрегат питания электрофилтра является одним из важнейших узлов электрогазоочистной установки. Достигнутому за последнее время заметному повышению эффективности и надежности работы установок способствовало создание современных автоматических агрегатов питания, что позволило автоматизировать работу установок электрической очистки газов. Специфические особенности технологических процессов в отраслях промышленности, где применяются электрофильтры, привели к созданию аппаратов различных конструкций. Однако многообразие типов электрофильтров не предъявляет особых требований к конструкции и схеме агрегатов питания. Поэтому унифицированные агрегаты могут быть использованы для питания любого электрофилтра.

Система электрофилт — агрегат питания (рис. 4.48) работает в режиме обратной связи: любое изменение в активной зоне электрофилтра отражается в режиме работы агрегата питания. Таким образом, эффективность работы электрофилтра в значительной степени определяется способом регулирования напряжения и тока.

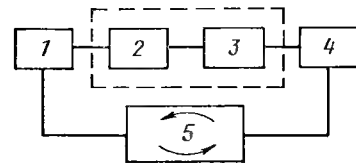


Рис. 4.48. Блок-схема системы электрофилт — агрегат питания:

1 — регулятор; 2 — повысительный трансформатор; 3 — выпрямитель; 4 — электрофилт; 5 — устройство обратной связи

Способы регулирования напряжения прошли все стадии — от использования примитивных реостатов, соединенных последовательно с автотрансформаторами, заторможенных асинхронных двигателей (индукционных регуляторов) до современных способов управления и контроля — магнитных усилителей и тиристорных регуляторов, обладающих высоким к. п. д., быстродействием и другими преимуществами, которые позволили создать современные системы управления режимами питания электрофильтров с применением компьютеров. В новых агрегатах вместо селеновых успешно применяются силовые кремниевые выпрямители. Последние более устойчивы к тепловым перегрузкам, занимают мало места и имеют большой срок службы.

Применение новых автоматических систем регулирования и полупроводниковых выпрямителей позволило разработать агрегаты питания мощностью до 100 кВт и обеспечить питание высокопроизводительных электрофильтров для энергоблоков мощностью 300, 500 и 800 МВт, мощных печей для обжига цемента, доменных печей и других высокопроизводительных технологических агрегатов.

Особенность работы электрофилтра заключается в том, что он обеспечивает максимальную степень очистки при напряжениях, при которых в активной зоне аппарата происходят искровые пробои, не переходящие в дуговые разряды. Уровень напряжения, при котором происходят искровые пробои, изменяется в широком диапазоне и зависит от большого числа факторов: от свойств отходящих газов, от содержания пыли в газе, влажности, температуры, размеров, химического состава и электрической проводимости частиц пыли, условий формирования слоя на осадительных электродах и других факторов.

Допустимая частота искровых пробоев также различается и зависит от адгезионных свойств слоя по отношению к электроду, электри-

ческой проводимости слоя, конструкции и материала электродов, свойств запыленного газа, способности пылей к вторичному диспергированию, быстрей действия, внутреннего сопротивления источника питания, интенсивности обратной короны и других факторов. Достижение максимальной степени очистки газов электрофильтром возможно лишь при автоматическом регулировании напряжения.

В современных агрегатах питания заложены следующие системы регулирования тока и напряжения электрофильтра: по заданному току или напряжению; по мощности коронного разряда; по уровню пробивных напряжений; по частоте искровых пробоев; по максимальному среднему напряжению; по напряжению последующего поля; по остаточной запыленности газов после электрофильтра (применение пылемера). При изменении системы регулирования диктуется физико-химическими свойствами пылегазового потока и прежде всего величиной УЭС пыли. Выбор системы регулирования подробно изложен в работах [24, 40].

Существует несколько вариантов формирования волны питающего напряжения. Первый вариант — это классическая схема повысительно-выпрямительного блока с различным числом полупериодов и фаз выпрямленного напряжения. Питание от однофазных источников с однополупериодной схемой выпрямления целесообразно для электрофильтров, улавливающих высокоомные пыли. Такая схема обладает способностью к гашению дуговых разрядов в электрофильтре за счет большого промежутка времени, в течение которого электрофильтр не подпитывается от источника питания и электрическая прочность промежутка успевает восстановиться, но имеет большую чувствительность к изменению нагрузки. Питание от однофазного источника с двухполупериодной схемой выпрямления применимо для наиболее широкого диапазона улавливаемых пылей, при этом обеспечивается достаточная способность к гашению дуговых разрядов, если регулятор напряжения работает в режиме прерывистых токов. При питании от таких источников электрофильтры работают с высокой степенью очистки от пылей с УЭС, равным $10^7 - 10^9$ Ом·м.

Для улавливания пылей с УЭС $10^4 - 10^7$ Ом·м необходима максимальная мощность коронного разряда. Это условие выполняется при питании электрофильтра постоянным напряжением отрицательной полярности с минимальными пульсациями напряжения. С этой целью в электрогазоочистке применяют трехфазные источники питания с выпрямленным напряжением по мостовой схеме.

Второе направление — питание электрофильтра знакопеременным напряжением. При улавливании высокоомных пылей слой, образующийся на осадительных электродах из-за очень низкой проводимости, заряжается до потенциала, при котором напряженность в порах слоя вызывает ионизацию заполняющего их газа, в результате чего возникает обратная корона со слоя. Зарядка слоя происходит с определенной постоянной времени, зависящей от плотности объемного заряда в промежутке, подвижности ионов и проводимости слоя. Если изменить знак ионов в промежутке, то на поверхности слоя частиц будет формироваться новый слой другого знака.

Чередование слоев различного знака позволяет устранить отрицательное действие обратной короны на степень очистки газов и улучшить отряживание электродов.

Промышленные испытания электрофильтра при питании его полей агрегатом со знакопеременным напряжением показали снижение пылеуноса в 2—2,5 раза при улавливании пылей 3-й группы. Установлено, что при переводе питания с постоянного на знакопеременное напряжение обратная корона в электрофильтре подавляется полностью. Этот способ

питания с точки зрения повышения степени очистки конкурентоспособен с кондиционированием газов [85].

Третий вид источников питания основан на импульсной зарядке коронирующих электродов или создании пульсирующего объемного заряда в межэлектродном промежутке. При импульсном питании происходит увеличение пробивных напряжений в электрофильтре при наложении постоянного напряжения импульсов напряжения малой длительности. Уровень амплитуды напряжения, при которой происходит пробой, прямо пропорционален частоте следования импульсов напряжения, уровню постоянной составляющей напряжений, длительности импульса напряжения и обратно пропорционален величине напряжения. Увеличение амплитуды импульсов напряжения повышает максимальную напряженность поля в межэлектродном промежутке и увеличивает предельный заряд, получаемый частицами. При импульсном питании улучшаются условия встряхивания электродов. И, наконец, резкое снижение удельных токов короны при питании импульсным напряжением снижает интенсивность обратной короны, а в некоторых случаях предотвращает ее появление [84—87].

Агрегаты питания электрофильтров

В СССР эксплуатируются несколько типов агрегатов отечественного производства, а также агрегаты ГДР, ЧССР и других стран, закупленные совместно с электрофильтрами.

Устройство и принципиальные схемы агрегатов питания электрофильтров первого и второго поколения АРС, АИФ и АУФ рассмотрены в работах [40, 74, 28].

Агрегаты серии АТФ представляют третье поколение агрегатов отечественного производства, основным отличием которых от ранее выпущенных агрегатов АРС, АИФ и АУФ является отсутствие в схеме агрегата силового магнитного усилителя, замененного тиристорным силовым регулирующим органом. Это позволило создать простой по конструкции и более надежный в эксплуатации агрегат. Из других преимуществ агрегата АТФ можно отметить быстрдействие, компактность и долговечность основных узлов. Значительно увеличена скорость гашения дуги в электрофильтре (до 20 мс), уменьшен расход электроэнергии в цепях управления, повышена устойчивость процесса регулирования напряжения, уменьшены габариты и масса агрегата.

Серия агрегатов АТФ включает пять модификаций, отличающихся друг от друга средними значениями выпрямленного тока. Все агрегаты однофазного исполнения. Вся серия агрегатов АТФ имеет следующие общие характеристики:

Частота, Гц	50
Напряжение питающей сети, В	380
Номинальное выпрямленное напряжение, кВ	80
Коэффициент мощности при номинальной нагрузке не ниже	0,8
К.п.д. при номинальной нагрузке	0,8

В агрегатах серии АТФ применены кремниевые мостовые выпрямители с симметричным экранированием.

Блок силовых тиристоров (два тиристора, включенных встречно-параллельно) совмещает функции плавного регулирования напряжения на первичной обмотке силового трансформатора и оперативного включения и отключения агрегата.

ГАБАРИТНЫЕ РАЗМЕРЫ АГРЕГАТОВ СЕРИИ АТФ

Тип агрегата	Ширина, мм	Полная масса, кг	Тип агрегата	Ширина, мм	Полная масса, кг
АТФ250-У2	1260	1820	АТФ600-Т2	1260	2150
АТФ250-Т2	1260	1820	АТФ1000-У2	1280	2140
АТФ400-У2	1260	1900	АТФ1000-Т2	1360	2250
АТФ400-Т2	1260	1950	АТФ1600-У2	1500	2900
АТФ600-У2	1260	2080	АТФ1600-Т2	1500	2900

Примечание. Для агрегатов АТФ1600-У2, АТФ1600-Т2 длина 2250, высота 275 мм, для всех остальных длина 2175, высота 2015 мм.

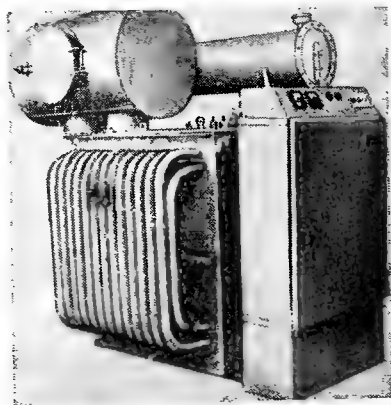


Рис. 4.49. Общий вид агрегата АТФ

Агрегаты серии АТФ снабжены устройствами защиты от аварийных режимов, световой и звуковой сигнализацией. Предусмотрена возможность дистанционного управления агрегатом. Все устройства управления и автоматического регулирования, за исключением пусковых цепей и элементов тепловой защиты, бесконтактные, выполнены на полупроводниковых приборах. Агрегат серии АТФ состоит из четырех блоков: силового блока из трансформатора и выпрямителя, распределительного устройства высокого напряжения, блока управления с регулирующей аппаратурой, блока измерительных приборов и пусковых кнопок (рис. 4.49). Блок управления навешивается на бак силового трансформатора, а блок измерительных приборов и пусковых кнопок может быть вынесен в отдельное помещение.

Агрегаты серии АТФ выпускаются четырех модификаций: У2 — для работы в районах с умеренным климатом на крыше электрофильтров под навесом; У3 — для работы в районах с умеренным климатом в закрытых неотапливаемых помещениях; Т2 — для работы в районах с влажным и сухим тропическим климатом на крыше электрофильтров под навесом; Т3 — для работы в районах с влажным и сухим тропическим климатом в закрытых помещениях. Все модификации агрегатов серии АТФ допускают эксплуатацию при температуре $(+45) \div (-40)^\circ\text{C}$. В табл. 4.9 приведены установочные размеры агрегатов серии АТФ всех модификаций.

Агрегат серии АТФ рассчитан на подсоединение к двум фазам трехфазной сети переменного тока. Схема автоматического регулирования агрегата обеспечивает: автоматическое и ручное регулирование напряжения и тока короны от нуля до номинального значения (автоматическое регулирование ведется по интенсивности искрения в электрофильтре, ручное регулирование производится только при настройке агрегата); предупреждение возникновения вторичных искровых разрядов и гашение дуговых разрядов за время не более 0,01 с с момента их возникновения; ограничение среднего значения тока короны с плавной меняющейся уставкой от 50 до 100 % номинального значения.

В агрегатах предусмотрены следующие виды защиты при аварийных режимах: защита от коротких замыканий в активной зоне электрофильтра, имеющая выдержку времени около 3 с; мгновенная защита, действующая при аварийных ситуациях в электрофильтрах; тепловая защита от перегрева силового блока.

Принципиальная электрическая схема агрегата серии АТФ представлена на рис. 4.50. Блоки 1—4 представляют силовую функциональную группу агрегата, а блоки 6—14 — автоматический регулятор. Напряжение сети подводится к первичной обмотке повысительного трансформатора через автоматический выключатель 1, силовые тиристоры 2 и токоограничивающий реактор 3. Автоматический выключатель, помимо функций коммутации, служит для защиты агрегата от коротких замыканий в первичной цепи; он снабжен дистанционным расцепителем для аварийного отключения агрегата.

Напряжение, подводимое к первичной обмотке трансформатора, регулируется с помощью силового тиристорного регулятора 2, состоящего из двух тириستоров, включенных встречно-параллельно. При работе агрегата в активной зоне электрофильтра систематически возникают искровые разряды, в результате чего ток и напряжение в электрофильтре непрерывно изменяются, что приводит к срабатыванию селектора искровых разрядов 12, который при каждом искровом или дуговом пробое в электрофильтре воздействует на блок переходного режима 11 и на формирователь управляющего сигнала длительного режима 10.

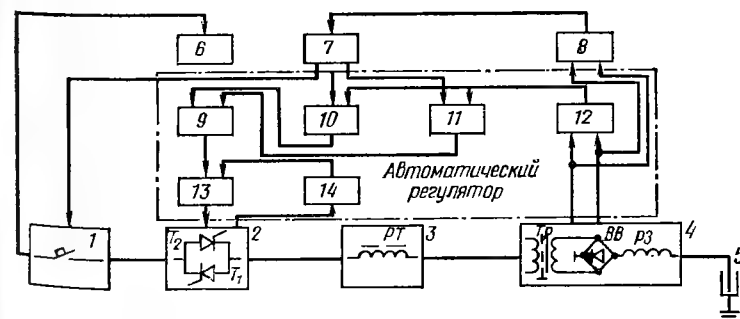


Рис. 4.50. Принципиальная схема агрегата питания АТФ

Блок переходного режима *11* воздействует на блоки *9* и *13*, что приводит к закрытию силовых тиристоров, т.е. к снятию напряжения с первичной обмотки трансформатора на 2—3 полупериода питающего напряжения с последующим плавным нарастанием напряжения на фильтре до уровня, близкого к предпробойному, что позволяет быстро погасить возникшую в электрофильтре дугу или предупредить возникновение вторичных искровых разрядов, способствующих возникновению дуги.

Формирователь управляющих сигналов длительного режима *10* определяет уровень, до которого происходит нарастание напряжения на электрофильтре после пробоя в результате действия блока переходного

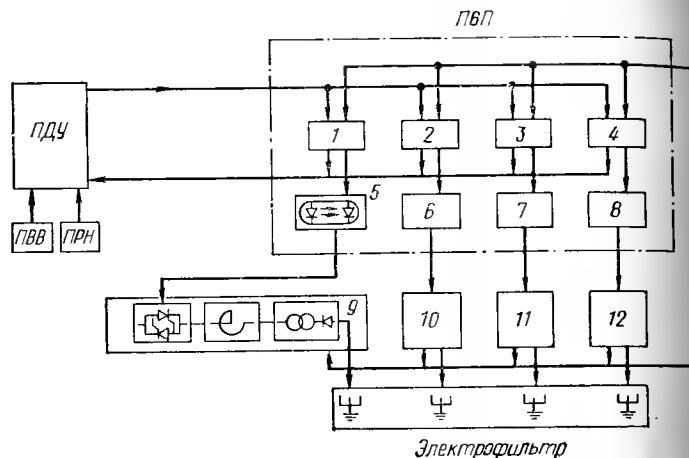


Рис. 4.51. Блок-схема комплексной системы управления электрофильтром СКИФ:

1—4 — блоки регулирования ПВП; 5—8 — блоки формирования импульсов управления прибором ПВП; 9—12 — агрегаты питания АТПОМ

режима *11*. Указанный уровень напряжения обратно пропорционален интенсивности (количеству) и длительности искровых разрядов. Кроме того, формирователь *10* производит дальнейший плавный подъем напряжения на электрофильтре до значения, при котором происходит следующий пробой, или до достижения агрегатом номинального тока, определяемого вольт-амперной характеристикой короны электрофильтра. Скорость подъема напряжения может регулироваться пятью ступенями при помощи переключателя режимов работы.

Блок *13* формирует импульсы управления силовыми тиристорами, а преобразователь *9* — момент подачи импульсов управления относительно питающего напряжения в зависимости от амплитуды сигнала, поступающего с блоков *10* и *11*. Устройство обратной связи *14*, предназначенное для предупреждения возникновения однополупериодных режимов питания трансформаторов, позволяет подавать импульсы управления на тиристоры только тогда, когда они оба закрыты. Блок защиты от коротких замыканий *8* при помощи промежуточного блока *7* через дистанционный расцепитель силового автомата отключает автоматический выключатель при коротких замыканиях на выходе агрегата,

продолжительность которых составляет не менее 3 с. Блок *6* обеспечивает питание цепи автоматического регулирования.

На базе агрегата АТФ выпускаются модернизированные агрегаты типа АТПОМ. Основные технические характеристики агрегатов АТФ и АТПОМ приведены в табл. 4.10. В конструкцию агрегатов АТПОМ введена система СКИФ, позволяющая автоматизировать регулирование ре-

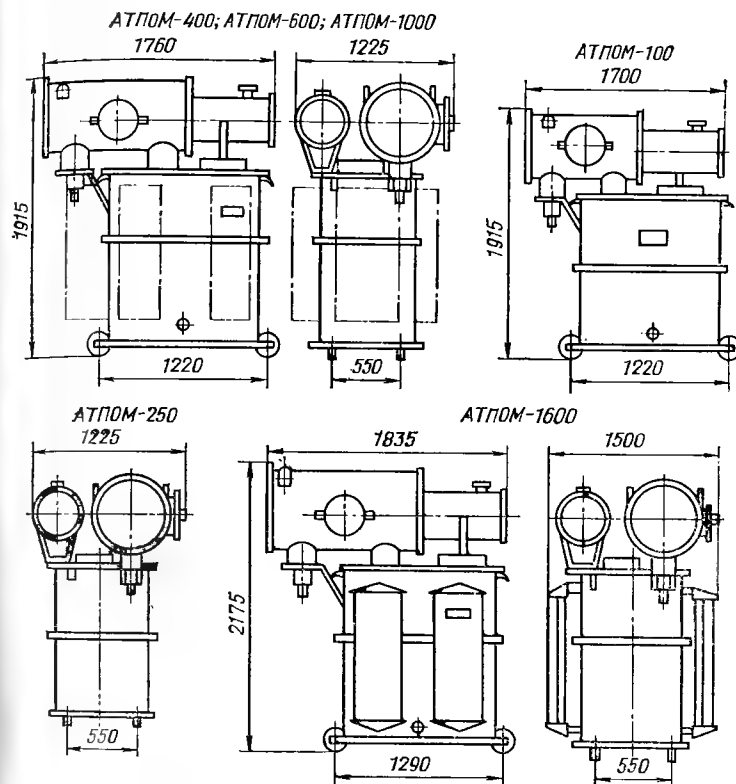


Рис. 4.52. Габаритные и установочные размеры агрегатов серии АТПОМ

жима питания электрофильтров, работу системы встряхивания электродов и транспорта пыли, режим поддержания температуры в изоляторных коробках. Функциональными блоками системы СКИФ являются приборы ПВП, ПВВ, ПРН и ПДУ (рис. 4.51).

Схема агрегата позволяет реализовать в автоматическом режиме следующие операции: ручное и автоматическое управление по трем способам регулирования напряжения; местное и дистанционное управление; местный и дистанционный контроль и сигнализацию работы агрегатов АТПОМ; технологическую и аварийную блокировки. На рис. 4.52 приведены габаритные и установочные размеры агрегатов серии АТПОМ.

ТЕХНИЧЕСКИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ АГРЕГАТОВ ПИТАНИЯ
ЭЛЕКТРОФИЛЬТРОВ ТИПА АТФ И АТПОМ [88]

ТАБЛИЦА 4.10

Показатели	Марка агрегата питания				
	АТФ-250; АТПОМ-250	АТФ-400; АТПОМ-400	АТФ-600; АТПОМ-600	АТФ-1000; АТПОМ-1000	АТФ-1600; АТПОМ-1600
Номинальное напряжение сети, В	380 400 415	380 400 415	380 400 415	380 400 415	380 400 415
Номинальный выпрямленный ток нагрузки (среднее значение), мА	250±25	400±40	600±60	1000±100	1600±160
Мощность, потребляемая из сети, кВт·А, не более	26	40	60	100	160
Коэффициент полезного действия, не менее	0,85	0,85	0,85	0,90	0,90

¹ Номинальная частота 50 и 60 Гц; номинальное выпрямленное напряжение, кВ: 50±3 среднее значение, 80±8 амплитудное значение; коэффициент мощности не менее 0,6.

Рекомендации для выбора агрегатов питания

При выборе агрегатов питания рекомендуется руководствоваться следующими соображениями. Номинальный ток агрегата должен соответствовать всем режимам работы электрофильтра. Типоразмер (мощность) агрегата определяется выражением

$$I = Li_L \cdot 1000,$$

где I — номинальный ток агрегата, А; L — активная длина коронирующих электродов, питаемых от одного агрегата, м; i_L — удельный ток короны на единицу длины коронирующего электрода, мА/м.

Заранее предусмотреть точные значения удельного тока короны, которые удастся получить в промышленных условиях, не представляется возможным. Приближенно можно считать, что в электрофильтрах рассмотренных конструкций для коронирующих проводов гладкого и штыкового сечений удельные токи короны могут быть приняты в пределах 0,08—0,1 мА/м, а для игольчатых 0,18—0,25 мА/м [40, 2].

Отметим, что в отдельных случаях при благоприятных параметрах пылегазового потока приведенные значения могут быть несколько выше. Для всех игольчатых электродов понятие об удельном токе короны является весьма условным, так как коронный разряд происходит не по

всей длине, а в отдельных фиксированных точках, число которых определяется шагом игл. Поэтому удельный ток короны лучше относить к единице площади осадительных электродов (мА/м²). Это позволит сравнивать расходы тока независимо от типа коронирующих электродов. Тогда номинальный ток агрегата определяется из соотношения

$$I = Si_s \cdot 1000,$$

где S — поверхность осаждения осадительных электродов, приходящаяся на один агрегат, м²; i_s — удельный ток короны, мА/м². В общем случае мощность, затрачиваемая для выделения частиц из газового потока, пропорциональна току короны I_k и напряжению U_k : $P = I_k U_k$. Полная мощность, потребляемая электрофильтром, определяется по формуле

$$P = \frac{U_a I_{cp} K_{\phi} \cos \varphi}{1,41 \eta_a} + P_1,$$

где U_a — амплитудное значение напряжения, кВ; I_{cp} — среднее значение тока короны, А; K_{ϕ} — коэффициент формы кривой тока (для агрегатов отечественного производства $K_{\phi} = 1,1 \div 1,3$); η_a — к. п. д. агрегата; 1,41 — коэффициент перехода от амплитудного значения напряжения к эффективному; P_1 — мощность, потребляемая механизмами встраивания электродов и нагревательными элементами изоляторов коробок.

Вопросы выбора агрегатов по напряжению не рассматриваются, так как серийно выпускаемые в настоящее время отечественной промышленностью агрегаты питания имеют значение амплитудного напряжения (80 кВ) значительно выше, чем может быть достигнуто при рядных промежутках в рассмотренных электрофильтрах.

При выборе числа агрегатов необходимо учитывать, что стоимость агрегата питания по сравнению со стоимостью электрофильтра относительно мала. Например, установка для очистки газов вращающейся печи цементного производства размерами 170×4,5 м, состоящая из двух электрофильтров УГ2-4-74 и агрегатов питания, стоит примерно 250 тыс. руб., в том числе один агрегат 10 тыс. руб. Уменьшая число агрегатов с 16 до 14, достигают небольшого сокращения капитальных затрат, однако эффективность пылеулавливания при этом значительно снижается из-за недостаточного использования установки.

В установках средней и большой производительности с электрофильтрами для улавливания пыли с относительно низким удельным электрическим сопротивлением (10^8 — 10^9 Ом·м) рекомендуется принимать схему питания агрегат — поле с двухполупериодным выпрямлением напряжения. При этой схеме коммутации цепи высокого напряжения будет наиболее простой.

Для улавливания пыли или золы с высоким удельным электрическим сопротивлением рекомендуется использовать агрегаты с однополупериодным выпрямлением напряжения. Во всех случаях для улавливания пыли необходимо также применять схему питания агрегат — поле. Если применение однополупериодного напряжения не позволяет полностью ликвидировать обратную корону в электрофильтре, можно использовать метод кондиционирования пылегазового потока.

Для небольших электрофильтров можно принять схему питания агрегат — несколько полей. При этом электрический режим полей фильтра, параллельно подключенных к одному агрегату, будет соответствовать режиму поля с худшей центровкой электродов, газораспределением и др. Поэтому при данной схеме питания необходимо обеспечить хорошее состояние параллельно подключенных полей электрофильтра.

Подстанции для агрегатов питания электрофильтров относятся к разряду закрытых распределительных устройств напряжением выше 1000 В. Кроме агрегатов питания, в подстанции установлены системы управления и сигнализации аппаратов и механизмов установки электрической очистки газов. В зависимости от компоновки электрофильтра подстанции агрегатов питания размещают на первом или втором этаже. При размещении подстанции выше первого этажа на бетонные перекрытия необходимо предусмотреть налив легкого бетона слоем 150 мм для устройства в нем маслоприемников, кабельных каналов и закладки труб.

В общем помещении подстанции может быть установлено не более 20 агрегатов питания с общим количеством трансформаторного масла до 10 т или 12 агрегатов с общим количеством масла 12 т. При большом количестве масла или агрегатов помещение подстанции должно секционироваться путем установки несгораемых перегородок с дверями, открывающимися в обе стороны. Высота помещения подстанции (до нижней полки монорельса) должна быть не менее 4 м. Выходы из подстанции должны выполняться в соответствии с ПУЭ (ПУЭ IV-2-103).

Для защиты подстанции от проникновения производственной и атмосферной пыли и газов помещение выполняют преимущественно без окон, а при наличии окон они должны иметь двойные глухие переплеты. Вентиляция подстанции выполняется с подогревом воздуха для поддержания температуры в помещении 10 °С в зимнее время с очисткой приточного воздуха от пыли. Перепад температур входящего и выходящего воздуха в летнее время не должен превышать 15 °С.

При расчете вентиляционной системы необходимо учитывать тепловыделение от каждого агрегата, которое указывается в паспорте. Приточные вентиляторы, фильтры и калориферы устанавливаются в вентиляционной камере, расположенной рядом с подстанцией. Вытяжную вентиляцию выполняют естественной или принудительной.

Питание к подстанции, где установлены агрегаты, подводится от заводских понизительных подстанций с напряжением до 1000 В. Трехфазный переменный ток напряжением 380—500 В подается по кабелям на распределительный щит подстанции. На щите установлены автоматы для распределения тока к пульту управления каждого агрегата по кабелю, проложенному в полу подстанции в трубах или каналах. На практике к каждому автомату подключают до трех агрегатов питания.

Вывод выпрямителя отрицательной полярности (минус) агрегата соединяется круглой шиной или пружиной проводом с зажимом переключателя в распределительном устройстве высокого напряжения. Такой же шиной соединяются резервные выводы высокого напряжения всех агрегатов каждого электрофильтра. Вывод выпрямителя положительной полярности соединяется с осадительными электродами (корпусом) электрофильтра стальной шиной, которую присоединяют в нескольких местах к контуру заземления. Разрывы линии положительной полярности недопустимы, так как в этом случае прикосновение к линии положительной полярности выпрямителя может вызвать поражение электрическим током.

Заземлитель выполняют из стальных труб, забиваемых в землю на глубину до 3 м на определенном расстоянии друг от друга и соединенных полосовой сталью, которая к ним приваривается. Все металлические части электрофильтра, которые обычно не находятся под напряжением (ограждения корпусов приводных электродвигателей, контрольно-измерительные приборы, фланцы изоляторов и др.), также присоединяются к контуру заземления. Общее переходное сопротивление системы заземления не должно превышать 4 Ом.

Высоковольтный кабель. Для передачи электрической энергии от агрегатов питания к электрофильтрам используются специальные одножильные силовые кабели марки АСБЭ с номинальным сечением 50, 70 и 95 мм² (АСБЭ-1×50, 1×70, 1×95). Кабели для электрофильтров выпускаются по ГОСТ 6925—60 — с алюминиевой жилой сечением 50 мм², с бумажной пропитанной изоляцией, толщиной 9 мм, в свинцовой оболочке с защитным покровом типа Б (АСБЭ-1×50); по ТУ 16.06.485—70 — с алюминиевой жилой сечением 95 мм², с бумажной пропитанной изоляцией толщиной 12 мм, в свинцовой оболочке с защитными покровами типа Б и БГ (АСБЭ-1×95 и АСБГЗ-1×95). Усиленная изоляция

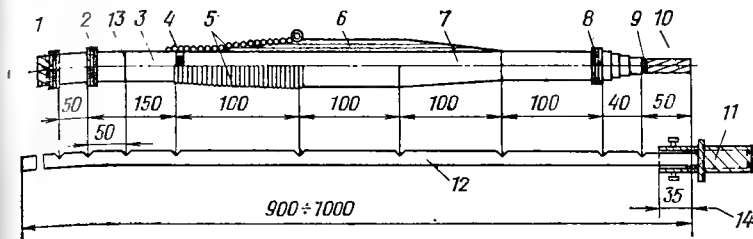


Рис. 4.53. Высоковольтный соединительный кабель в процессе разделки:

1 — стальная броня; 2 — металлический бандаж для крепления заземляющего провода; 3 — свинцовая оболочка кабеля; 4, 9 — полупроводящая бумага; 5 — экран; 6 — подмотка рулонами; 7 — бумажная изоляция; 8 — мелкий шнуровой бандаж; 10 — жила кабеля; 11 — наконечник; 12 — металлический шаблон; 13 — граница концевой муфты; 14 — глубина посадки жилы кабеля в наконечнике

кабелей с сечением 95 мм² была разработана в связи со случаями выхода из строя кабелей типа АСБЭ-1×50 (рис. 4.53).

Присоединение кабелей АСБЭ к зажимам токоприемников и агрегатов питания осуществляют с помощью концевых кабельных муфт КЭ-75 с изоляторами КОН-35, которыми снабжаются кабели при наружных установках в уплотненных изоляторных коробках. Концевые муфты КЭ-75 предназначены для работы при выпрямленном напряжении до 75 кВ в помещениях, защищенных от попадания пыли.

К кабельным муфтам предъявляются требования герметичности, механической и электрической прочности, высокой коррозионной стойкости и удобства монтажа. Электрическая прочность муфт должна быть не меньше электрической прочности силового кабеля. Фарфоровая изоляция концевых муфт должна соответствовать нормам прочности сухоразрядного и мокроразрядного напряжения установок при продолжительности приложенного испытательного напряжения 1 мин.

Концевая муфта одновременно представляет собой один из видов проходных изоляторов, поэтому ее конструкция обусловлена также состоянием окружающей среды (плотностью и влажностью воздуха, его загрязненностью).

В установках для электрической фильтрации газов применяются концевые муфты с сухой разделкой. Преимуществами сухой разделки являются гибкость, небольшое количество затрачиваемых материалов, доступность для наблюдения. На рис. 4.54 приведен общий вид концевой кабельной муфты. Муфта заземляется голым медным гибким проводом сечением 25 или 35 мм². Концы облуженного провода опрессовываются наконечниками, один из которых присоединяется к нижнему фланцу муфты, а второй — к заземленной конструкции. Вопросы раз-

делки кабеля и монтажа концевой муфты рассмотрены в работе [75].

Прокладка кабельной трассы от агрегатов питания до электрофильтра проводится в соответствии с техническими условиями. Кабели предназначены для прокладки без предварительного нагрева при температуре не ниже 0°C на участках с разностью уровней не более 40 м при условии применения концевых муфт с заливкой маслостойкой резины. При температурах ниже 0°C необходимо производить предварительный прогрев кабеля в хорошо нагретом помещении в течение 10—12 ч. Прокладку кабеля

производить по заранее подготовленной трассе, не допуская задержек в работе. Кабель после прокладки должен выдерживать 10-мин испытание напряжением 150 кВ постоянного тока. Все испытания кабеля производятся при температуре от 5 до 30°C.

Трасса кабельной линии выбирается с учетом наименьшего расхода кабеля и обеспечения его сохранности от механических повреждений, коррозии, вибрации, перегрева и от повреждения электрической дугой соседних кабелей. При сматывании кабеля с барабана необходимо, чтобы барабан вращался в сторону, противоположную разматыванию кабеля.

При размещении кабелей следует избегать пересечения их друг с другом и с трубопроводами. Кабельные линии выполняются таким образом, чтобы в процессе монтажа и эксплуатации было исключено возникновение в них опасных механических напряжений и повреждений, для чего: кабели должны быть уложены с запасом 1—3 % по длине («змейкой»), достаточным для компенсации возможных смещений температурных деформаций как кабелей, так и конструкций, по которым они проложены; укладывать запас кабелей в виде колец (витков) запрещается; кабели, положенные по вертикали по конструкциям, стенам, перекрытиям и т. п., жестко закрепляются в конечных точках, непосредственно у концевых разделок, с обеих сторон изгибов и у соединительных муфт (рис. 4.55).

При использовании агрегатов питания с механическими выпрямителями и ручным регулированием

напряжения электрофильтры работают, как правило, с заниженным рабочим напряжением, вследствие чего высоковольтные кабели успешно эксплуатировались длительное время. С переходом на автоматические полупроводниковые агрегаты, обеспечивающие максимальный уровень напряжения, резко увеличилось число пробоев и частота искровых разрядов в электрофильтрах. Это приводит к возникновению в кабеле высокочастотных колебаний и переходных процессов, которые вызывают пробой кабеля и выход его из строя.

Одним из путей подавления периодических колебательных процессов в кабеле является превращение их в апериодические, что достигается включением последовательно с кабелем защитного устройства. Для этих целей применяются защитные сопротивления ЗСК и ЗСКВ-1000 при силе тока 250, 400, 600 и 1000 мА. При силе тока 1600 мА устанавливаются два защитных устройства параллельно. На рис. 4.56 показана установка защитного сопротивления ЗСК в изоляторной коробке электрофильтра УГ. Защитное устройство входит в комплект поставки электрофильтров.

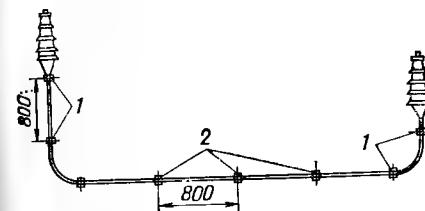


Рис. 4.55. Места крепления высоковольтного кабеля:

1 — у кабельных муфт, на вертикальных участках и на изгибах кабель крепится жестко скобами; 2 — на горизонтальных участках кабель укладывается на специальные металлические опоры; 800 мм — расстояние между скобами и опорами

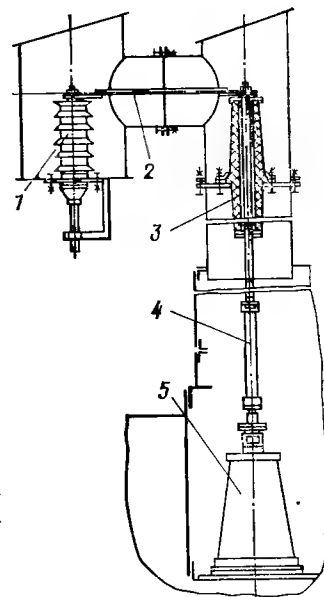


Рис. 4.56. Установка защитного сопротивления ЗСК:

1 — концевая кабельная муфта; 2 — соединительная шина; 3 — проходной изолятор; 4 — защитное сопротивление ЗСК; 5 — опорно-проходной изолятор

Рис. 4.54. Общий вид концевой кабельной муфты:

1 — наконечник; 2 — верхняя плита; 3 — чугунный фланец; 4 — изолятор; 5 — заливочная масса; 6 — бумажные рулоны; 7 — кольца из трубок; 8 — экран из свинцовой проволоки; 9 — фланец муфты; 10 — корпус муфты; 11 — пробка; 12 — набивка сальниковая; 13 — гайка сальниковая; 14 — маслостойкая резина; 15 — заземляющий провод; 16 — место присоединения; 17 — бандаж

Строительство подстанций для размещения агрегатов питания и аппаратуры управления механизмами электрофильтра связано со значительными капитальными затратами, а наличие соединительного кабеля высокого напряжения создает определенные трудности при эксплуатации установок. Поэтому в последние годы силовые блоки агрегатов устанавливают непосредственно на крыше электрофильтра. В этом случае отпадает необходимость в кабеле, а соединение агрегата с коронной системой электрофильтра осуществляется короткой шиной или проходным изолятором. Пульты управления и контрольно-измерительные приборы размещаются, как правило, вблизи щита управления основным технологическим процессом.

4.10. СПОСОБЫ ИНТЕНСИФИКАЦИИ РАБОТЫ ЭЛЕКТРОФИЛЬТРОВ

Питание электрофильтра знакопеременным напряжением обеспечивает подавление обратной короны при улавливании высокоомных пылей. При испытании электрофильтра ПГДС-42-3 за печью обжига шамота (УЭС пыли 10^8 Ом·м) была достигнута более высокая степень очистки [86]. Положительные результаты получены при использовании этого вида питания для электрофильтра ПГДС на Сланцевском цементном заводе при улавливании пыли с УЭС около 10^{12} Ом·м. По сравнению с обычным питанием остаточная запыленность после электрофильтра снизилась в 2—3 раза.

Применение импульсного напряжения позволяет улучшить рабочие характеристики электрофильтра при улавливании высокоомных пылей. Накладывая с помощью соответствующего импульсного генератора импульсы высокого напряжения на постоянный ток, получают более высокие пиковые напряжения без искрового перекрытия межэлектродного промежутка. Испытания электрофильтра при обеспыливании газов вращающейся печи обжига известняка показали, что коэффициент отношения скоростей дрейфа частиц при питании постоянным и импульсным напряжением возрастает от 1,2 до 2,0 и более в интервале УЭС 10^{11} — 10^{13} Ом·м [28]. В СССР созданы опытно-промышленные агрегаты импульсного напряжения.

Предварительная зарядка частиц, обладающих высоким значением УЭС. Зарядные устройства устанавливаются в качестве первой ступени двухступенчатых электрофильтров, где происходит зарядка частиц. Улавливание частиц реализуется во второй ступени.

ВНИПИчерметэнергоочисткой разработано устройство, которое может быть использовано для зарядки пылей с целью укрупнения их частиц [89]. На опытном стенде в мартеновском цехе был исследован процесс электроосаждения высокодисперсной мартеновской пыли в трубчатых скоростных электроосадителях диаметром 130 и 250 мм с коронирующими электродами из провода и колючей проволоки. Электроосаждение мартеновской пыли позволяет осуществить укрупнение 80—90 % частиц в агрегаты со средним размером 50 мкм. В моменты встряхивания осадительных электродов образуются укрупненные комки пыли, из которых 50 % задерживается в бункере скоростного электроосадителя. При скорости газа более 15 м/с зарастания игл коронирующих электродов мартеновской пылью не происходит [89]. Представляет интерес высокоинтенсивный ионизатор, представляющий собой систему ионизирующих элементов в виде трубы Вентури, установленную на входе в электрофильтр. Каждый такой элемент содержит центральный коронирующий электрод и кольцевой анод противоположно-го знака [82].

Система ионизирующих элементов действует как газораспределительное устройство, в котором скорость газа повышается примерно с 1,2 м/с у торцевой поверхности до 15—25 м/с при прохождении через ионизирующее электростатическое поле.

К коронирующему электроду подводится отрицательное напряжение (75—100 кВ) постоянного тока. При этом в ионизаторе создается повышенная концентрация ионов и образуется зарядное поле напряженностью порядка 10 кВ/см. В результате при прохождении через ионизатор частицы пыли получают очень большой заряд, который может в два раза превышать заряд в обычном электрофильтре. Поддержание анода в чистом состоянии обеспечивается применением пористого тела, сквозь которое пропускают воздух под небольшим давлением.

Повышение эффективности электрофильтров кондиционированием газов. Кондиционирование дымовых газов является одним из эффективных способов повышения степени очистки электрофильтров при улавливании пылей с высоким удельным электрическим сопротивлением. Однако этот способ рекомендуется применять в случае, когда все другие способы интенсификации работы электрофильтра не привели к положительным результатам. В числе этих способов следует указать: оптимизацию режима электрического питания, подбор рациональных геометрических размеров электродов, выбор оптимальной цикличности вклю-

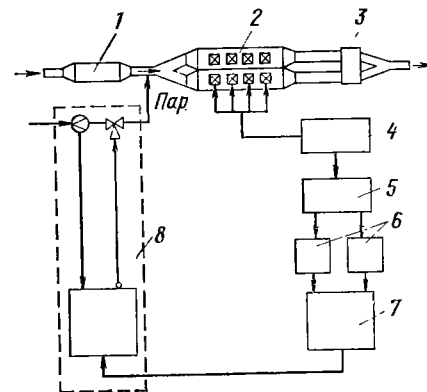


Рис. 4.57. Блок-схема системы автоматического регулирования кондиционирующего пара:

1 — циклонная установка; 2 — объект управления (электрофильтр); 3 — дымосос; 4 — агрегат питания; 5 — электродные потенциометры; 6 — пневматические преобразователи; 7 — логическое устройство; 8 — контур стабилизации расхода кондиционирующего пара

чения механизмов встряхивания, тщательный контроль за режимом работы основного технологического оборудования и др. Это связано с тем, что независимо от способа кондиционирования возрастают эксплуатационные затраты; при кондиционировании химических реагентами, водой или паром необходимы сооружение специальных помещений, установка дозаторов, насосов, контрольно-измерительного оборудования и др.

Сущность кондиционирования состоит в том, что перед подачей запыленного газа в электрофильтр изменяют его влажность, температуру и химический состав в направлении, которое способствует снижению удельного электрического сопротивления пыли. Выбор способа подготовки газа определяется физико-химическими свойствами пылегазового потока [2, 18].

Ниже приведены результаты испытаний электрофильтра при кондиционировании дымовых газов вращающейся печи для обжига магнетита. Необходимость кондиционирования была вызвана тем, что вследствие высокого удельного электрического сопротивления магнетитовой пыли (10^{13} Ом·см) в электрофильтре существовала интенсивная обратная корона. Испытания проводили на промышленной установке, состоящей из вращающейся печи размерами 3,6×90 м для обжига магнетита, пылевой камеры для осаждения крупных фракций сырья, котла-утилизатора для охлаждения дымовых газов до 200 °С, циклонной установки (шесть циклонов типа ЦН-24 диаметром 1200 мм) и электрофильтра типа ПГДС-3-73 (УГ).

Кондиционирование осуществлялось путем подачи пара в газопод перед электрофильтром. Блок-схема системы автоматического регулирования расхода пара приведена на рис. 4.57. Установка работает по следующему принципу. При увеличении расхода кондиционирующего пара величина тока короны электрофильтра уменьшается, а рабочее нап-

ПОВЫШЕНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ ЭЛЕКТРОФИЛЬТРА
ПРИ КОНДИЦИОНИРОВАНИИ ГАЗА

Скорость газа в электрофильтре, м/с	Влагодержание газа, г/м ³	Скорость дрейфа частиц, см/с	К. п. д. электрофильтра, %	Остаточная запыленность газа, г/м ³	Электрический режим ¹ полей электрофильтра			Мощность, потребляемая фильтром, кВт
					I	II	III	
0,7	53,6	2,9	92,6	0,66	33,7/0,16	34,0/0,16	34,5/0,17	36,1
	71,8	6,2	99,6	0,05	38,7/0,14	38,7/0,13	40,6/0,13	33,5
0,9	53,6	3,2	89,9	1,00	33,1/0,17	33,4/0,17	34,0/0,17	36,2
	75,8	6,9	99,2	0,13	37,7/0,14	37,7/0,14	37,8/0,14	33,1
1,2	59,1	3,9	87,0	1,30	31,5/0,16	32,2/0,17	32,7/0,17	35,1
	75,3	8,1	98,6	0,15	38,9/0,13	39,7/0,13	40,0/0,13	33,4

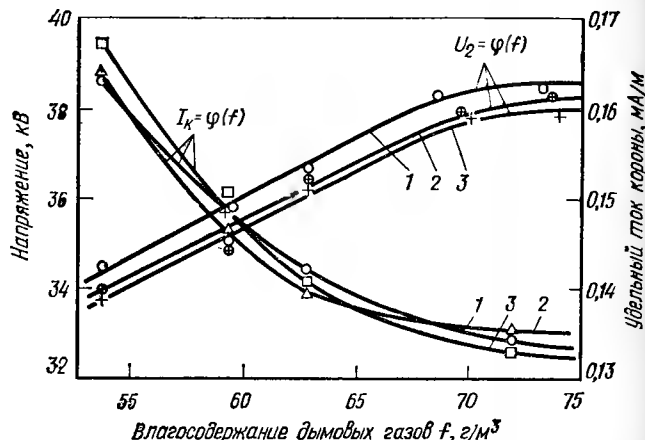
¹ В числителе — напряжение, кВ; в знаменателе — плотность тока, мА/м.

Рис. 4.58. Характер стабилизации электрического режима электрофильтра при кондиционировании пылегазового потока паром:

1—3 — номера полей

логическое устройство. В логическом устройстве происходит непрерывный анализ текущих значений тока и напряжения электрофильтра и корректируется работа регулятора расхода кондиционирующего пара. Таким образом, система обеспечивает поддержание оптимального уровня тока и напряжения, при которых обратная корона в электрофильтре отсутствует.

Результаты испытаний электрофильтра приведены в табл. 4.11.

Без кондиционирования дымовых газов по мере увеличения скорости газа в активной зоне электрофильтра с 0,7 до 1,2 м/с к. п. д. аппарата снижается с 92,6 до 87 %, что соответствует почти двойному увеличению пылеуноса. Относительно низкий к. п. д. электрофильтра даже при скорости газа 0,7 м/с объясняется работой аппарата в режиме интенсивной обратной короны, о чем свидетельствуют низкий уровень рабочего напряжения и повышенное значение тока короны. По мере увеличения влагосодержания повышение рабочего напряжения сопровождается снижением удельного тока короны. Как видно на рис. 4.58, такая тенденция наблюдается для всех трех полей электрофильтра. При достижении влагосодержания пылегазового потока около 75 г/м³ происходит стабилизация электрического режима фильтра, что указывает на полное подавление обратной короны в электрофильтре.

Кондиционирование дымовых газов, отходящих с температурой 145 °С и влажностью 60 г/м³ от рекуперативного теплообменника блока

мощностью 500 МВт, осуществлено на Троицкой ГРЭС. Для этого на входе в электрофильтр была смонтирована установка, состоящая из набора орошающих устройств, предназначенных для подачи в газоход диспергированной водой. Жидкость подается под углом 90° к направлению движения восходящего газового потока. Орошающее устройство представляет собой бездиффузорную трубу Вентури с горловиной прямоугольного сечения. Жидкость через элемент плоскофакельной форсунки подается в виде пленки в горловину, в которую перпендикулярно этой пленке поступает распыливающий воздух. За счет повышения влагосодержания газа с 62 до 83 г/м³ удалось устранить обратную корону и снизить остаточную запыленность с 80 до 16 г/м³ [2].

Для повышения степени очистки в электрофильтре типа ПГДС дымовых газов Кемеровской ГРЭС, работающей на кузнецких углях, Юж-техэнерго разработана схема кондиционирования газов пароводяной смесью [91], вводимой после воздухоподогревателя через пароводяные форсунки непосредственно в газоходы (по одной форсунке на газоход) перед электрофильтрами. Пароводяная смесь подается на вертикальном участке газохода, навстречу движущимся снизу вверх газам под углом 60° к направлению потока. Для стока неспарившейся воды под газоходами установлены гидрозатворы. Расход технической воды составляет 2—4,5 т/ч (при давлении 0,4—0,6 МПа) на одну форсунку, расход пара 0,5 т/ч. Пар давлением 0,6 МПа подавался от коллектора паропровода для собственных нужд. Кондиционирование дымовых газов пароводяной смесью наряду с одновременным снижением температуры отходящих газов со 140—150 до 115—130 °С позволило повысить степень их очистки до 99—99,5 %. Отложений золы в газоходах и электрофильтрах при работе установки кондиционирования не наблюдалось. Влага практически полностью испарялась за 2 с на пути от установки кондиционирования до электрофильтров.

В ряде случаев для устранения обратной короны оказывается достаточным повышение относительной влажности газа за счет снижения рабочей температуры газов перед электрофильтром без дополнительно-

го ввода воды. Например, снижение температуры улавливания высокоомной известняковой муки на выходе молотковой мельницы Пикалевского ПО «Глинзоем» со 150—170 до 70—80 °С обеспечило повышение эффективности очистки с 60 до 99 % [92].

Иногда увлажнение сухих газов может быть осуществлено путем их смешения с влажными газами, отходящими от другой технологической установки. На Обидимском асфальтовом заводе два электрофилтра типа УГ находятся в цехе производства минерального порошка и два в асфальтовом цехе, где измельченный щебень поступает в сушильные барабаны и подвергается сушке, нагреваясь до температуры 180 °С. Эффективность электрофилтров, улавливающих минеральный порошок с высоким удельным электрическим сопротивлением, удалось повысить путем смешивания аспирационного воздуха с газами сушки, характеризующимися высокой влажностью [93].

Фирма «Ниро атомайзер» (Дания) предлагает испарительные газоохладители для кондиционирования отходящих газов, поступающих на очистку от пыли в электрофилтры [94]. В предлагаемых аппаратах вода самотеком поступает в центробежный распылитель, установленный в верхней части охлаждающей камеры. При прохождении через вращающийся распылительный диск, хладагент превращается в однородный тонкодисперсный туман. Поток горячего газа проходит вертикально вверх через диспергатор, расположенный непосредственно под диском распылителя. При соприкосновении с горячими газами происходит мгновенное испарение брызг, сопровождающееся охлаждением газа. В качестве охлаждающего агента могут использоваться вода, шламовые отходы, жидкие отбросы, скрубберные сточные воды. Распылители работают при атмосферном давлении с подачей хладагента действием силы тяжести.

В тех случаях, когда подача воды в виде пара неэкономична, а введение воды в виде капель недопустимо из-за низкой температуры газа или же когда вода недостаточно эффективна в отношении снижения электрического сопротивления пыли, оказывается целесообразным прибегать к более сложным химическим добавкам, среди которых наиболее распространенными являются триоксид серы и хлорид аммония. Применяют несколько способов кондиционирования газов с помощью триоксида серы: непосредственный ввод или испарение жидкого SO_3 , сжигание серы с последующим каталитическим превращением диоксида серы в триоксид.

На электростанции Витри-сюр-Сен (Франция) повышение эффективности электрофилтра до 99,3 % достигнуто подачей небольших количеств газообразного триоксида серы (около 15 объемн. частей/млн. m^3) в дымовые газы с концентрацией золы 16 г/ m^3 [82]. Объем газов составил 1400 тыс. m^3 /ч. Сжигенный диоксид серы вводили в газопоток с помощью дозирующего устройства. Для получения триоксида серы смесь воздуха с диоксидом пропускали при температуре 440 °С над катализатором на основе пентаоксида ванадия. Температура дымовых газов перед электрофилтром составляла 120 °С. В атмосферный воздух выбрасывается около 25 % подаваемого триоксида.

4.11. ЭКСПЛУАТАЦИЯ ЭЛЕКТРОФИЛЬТРОВ

Общие положения

Современная электрогазоочистная установка состоит из комплекса аппаратов и механизмов, электронного оборудования и контрольно-из-

мерительной аппаратуры, четкое взаимодействие которых обеспечивает эффективную работу установок.

Неудовлетворительная работа электрофилтра может быть обусловлена следующими причинами:

1. Отклонение режима работы основного технологического агрегата от предусмотренного при проектировании системы газоочистки. Изменение объема отходящих газов, их влажности, температуры оказывает существенное влияние на показатели работы электрофилтра. Часто это бывает связано с усовершенствованием технологического процесса производства, его интенсификацией. Если эти возможности изменения основного технологического процесса не были своевременно учтены при проектировании систем пылеулавливания, то последние тоже должны подвергаться соответствующей реконструкции.

Весьма серьезные осложнения в работе электрофилтров и других сухих газоочистных аппаратов вызывает кратковременный перевод котлоагрегата или печи на сжигание мазута вместо твердого топлива. Трудноотряхиваемый слой продуктов сгорания мазута на поверхности электродов электрофилтра приводит в дальнейшем к зарастанию активной части аппарата золой при последующем переходе на сжигание твердого или газообразного топлива. Для удаления отложений продуктов сгорания мазута с поверхности газоочистных аппаратов приходится прибегать к промывке их горячей водой.

2. Неудовлетворительное качество изготовления пылеулавливающего оборудования. Некачественное изготовление электрофилтра и невысокий уровень его монтажа ухудшают его работу с первых же дней эксплуатации (при этом резко сокращается межремонтный период работы аппарата), поэтому рекомендуется заказывать газоочистную аппаратуру на специализированных заводах с комплексной поставкой всего вспомогательного оборудования.

3. Недостаточная квалификация обслуживающего персонала и отсутствие должного контроля со стороны руководства промышленного предприятия за состоянием очистного оборудования. В большинстве случаев газоочистные сооружения, работающие в технологической схеме и являющиеся частью основного технологического оборудования, работают лучше, чем те же аппараты, обеспечивающие только санитарную очистку отходящих газов. Например, более широкое использование уловленной золы и пыли в производстве строительных материалов способствует повышению заинтересованности эксплуатационного персонала тепловых электростанций и цементных заводов в увеличении эффективности газоочистных установок.

Одним из факторов эффективной работы большинства пылеулавливающих аппаратов является предупреждение возможностей подсоса наружного воздуха или перетекания газов внутри аппарата. Подсос холодного воздуха внутрь аппарата ведет к снижению эффективности работы электрофилтров из-за повышения относительной влажности газов и коррозии металла вследствие снижения температуры дымовых газов ниже точки росы в местах подсоса воздуха, а также к увеличению объема газов.

Особое внимание при эксплуатации газоочистных установок следует уделять вопросам выгрузки уловленной пыли или золы. Предупреждение подсоса воздуха через пылеспускные устройства и бесперебойное удаление уловленной пыли относятся к числу решающих факторов. Удовлетворительной работы каждого аппарата. Для каждой газоочистительной установки в зависимости от физико-химических свойств и количества улавливаемой пыли, параметров дымовых газов, типа применяемых аппаратов имеется оптимальный режим работы.

На каждый аппарат в системе пыле- или золоулавливания должен быть составлен технический паспорт с регистрационным номером Инспекции технического надзора или регламент с приведенным подробным описанием установки пылеулавливания и краткой инструкции по эксплуатации. Каждая вновь сооруженная или реконструированная установка должна быть налажена на оптимальный режим работы, испытана на эффективность и принята по акту. На каждую электрогазоочистную установку должны быть заведены эксплуатационный журнал сдачи-приема смен и журнал плановых осмотров и ремонтов. Установки должны быть обеспечены комплектами запасных частей наиболее изнашивающихся деталей.

Электрогазоочистительные установки должны подвергаться периодическим осмотрам, текущим, планово-предупредительным и капитальным ремонтам. Сроки осмотра и ремонта устанавливаются в соответствии с особенностью типа, конструкции и размера установки, а также с условиями ее эксплуатации.

При периодических осмотрах проводится детальная проверка работы и исправности всех механизмов и узлов установки с устранением всех недостатков. Периодический осмотр проводится раз в 1 или 2 мес в зависимости от конкретных условий.

Текущий ремонт, связанный с мелкими исправлениями, должен проводиться по мере необходимости эксплуатационным персоналом.

Планово-предупредительный ремонт проводится с целью предотвращения длительного простоя оборудования. Сроки планово-предупредительного ремонта устанавливаются в зависимости от характера производства, но не реже двух раз в год.

Капитальный ремонт предусматривает замену части газоочистного оборудования или его восстановление. Сроки капитального ремонта устанавливаются во время проведения планово-предупредительного ремонта. После каждого капитального ремонта следует проводить инструментальную проверку эффективности очистки газов от летучей золы или пыли.

В паспорте оборудования, а также в соответствующих чертежах, которые хранятся в архиве электростанции или предприятия, должны отражаться все изменения, внесенные в конструкцию аппарата во время монтажа и капитального ремонта.

При приеме-сдаче смены принимающий дежурный вместе со сдающим обязаны проверить режим работы установки и ознакомиться с записями, сделанными в сменном журнале; тщательно осмотреть пылеулавливающее оборудование, проверить показания контрольно-измерительных приборов, наличие инструмента, запасных частей, инструкций и защитных средств.

В сменном журнале записываются: нарушения режима работы электрофильтра, происшедшие в течение смены; причины отключения части оборудования или перевода работы на резервное оборудование; фиксируются время включения электрофильтра под напряжение и время выключения, помещаются сведения о ручном или автоматическом поддержании режима, показания электронизмерительных приборов; распоряжения сменному дежурному; время приема и сдачи смены и фамилии дежурных по установке. О всех обнаруженных неполадках, которые не могут быть устранены к моменту приема-сдачи смены, необходимо сообщать начальнику смены.

В журнал текущего ремонта заносят описание произведенных ремонтных работ с указанием даты и фамилии лиц, производивших теку-

щий ремонт оборудования, даты проверки и замены трансформаторного масла и результаты его анализа, а также даты и результаты замеров сопротивления заземления, даты проверки измерительных приборов. Окончившиеся журналы передаются на хранение в архив предприятия.

Главный энергетик предприятия, а на электростанции начальник электроцеха должен осуществлять технический надзор за эксплуатацией и ремонтом электрооборудования установки системы газоочистки, за оборудованием преобразовательной подстанции и электрической части электрофильтров; главный механик (начальник котельного цеха) — за эксплуатацией и ремонтом оборудования механической части установок.

Поля электрофильтра при нормальной работе должны питаться от своих рабочих агрегатов. При неисправности рабочего агрегата следует перевести питание поля на резервный агрегат, а если нет резервного — переключить питание данного поля на один из работающих агрегатов, питающий другое поле электрофильтра. Если электрофильтр многосекционный, то в случае выхода из строя одного из агрегатов питаемое им поле подключается к агрегату соответствующего поля другой секции. Для односекционных аппаратов допускается подключение к одному агрегату двух последовательных полей. Эффективность каждого поля, питающегося от одного агрегата, при этом может несколько снизиться, но общая эффективность ухудшится меньше, чем в случае полного отключения напряжения одного из полей.

В поле работающего электрофильтра иногда возникают частые пробои, нарушающие нормальную работу аппарата. Причиной их может быть временное нарушение технологического режима, в этом случае регулирование напряжения не требуется, так как это приводит к ухудшению эффективности аппарата.

Большое значение для эффективной работы аппарата имеют также правильный монтаж и пуск механизмов встряхивания электродов и распределительных решеток. Подробный перечень работ, которые необходимо выполнить в процессе приемки электрофильтра, приводится в прилагаемой к каждому аппарату документации. Ввод электрофильтра в эксплуатацию производится оперативным персоналом по специально разработанной программе, составленной при участии шеф-инженера.

Если перерыв между испытаниями электрофильтра «на воздухе» и пуском его в эксплуатацию составляет более месяца, необходимо повторить испытания «на воздухе» и устранить замеченные неисправности. Перед пуском электрофильтра рекомендуется включить механизмы встряхивания электродов и газораспределительных решеток, электрообогрев изоляторных коробок. Если электрообогрев не предусмотрен, высокое напряжение на электрофильтр подается после просушки изоляторов и достижения температуры в аппарате, исключающей конденсацию влаги. Для контроля температуры в изоляторной коробке, кроме установленных термомпар, рекомендуется предусматривать ртутные термометры.

Для включения агрегатов питания только после прогрева изоляторных коробок до заданной температуры в последних можно установить контактные термометры. Включение электрофильтра возможно только при налаженной системе пылетранспорта.

После месячной эксплуатации электрофильтра необходимо: для снижения подсосов воздуха отрегулировать наименьший расход воздуха для обдува внутренней полости изоляторов; регулировку производить перестановкой специальных планок на шапках изоляторов; устано-

время периодичности встряхивания электродов и газораспределительных решеток; установить периодичность включения вибровстряхивания бункеров с тем, чтобы не наблюдалось заивание золы или пыли. Как показывает практика, бункера очищаются полностью при включении вибратора на 8—10 с. Для эффективной работы электрофилтра в процессе его эксплуатации необходимо поддерживать технологические и электрические режимы, рекомендованные в результате проведения пусконаладочных работ.

Гарантией безаварийной и эффективной работы аппаратов являются систематический технический надзор и устранение мелких наружных неисправностей. Особое внимание необходимо уделять ликвидации подсосов воздуха через различные неплотности (люки, бункера, подводящие газоходы, взрывные клапаны и др.). Через каждые 10—15 дней работы необходимо производить осмотр механизмов встряхивания электродов, при остановке электрофилтра проводить ревизию системы встряхивания электродов.

Приемо-сдаточные испытания электрофилтров

Приемка, испытание и пусконаладочные работы по вводу электрофилтра в эксплуатацию проводятся приемочной комиссией, назначенной главным инженером предприятия по специально разработанному графику. В состав комиссии входят заранее назначенное лицо, ответственное за последующую эксплуатацию, представители санитарно-эпидемиологической (СЭС) и инспекции по газоочистке, представитель оперативного персонала (электриков, механиков), а также представители монтажной организации.

Ответственный за эксплуатацию электрофилтров работник должен иметь квалификацию по технике безопасности не ниже IV группы. Оперативный персонал, обслуживающий установку электрической очистки газов, руководствуется «Правилами технической эксплуатации и безопасного обслуживания газопылеулавливающих установок», а также «Правилами техники безопасности при эксплуатации электроустановок потребителей», «Правилами технической эксплуатации электроустановок потребителей», а также инструкциями по эксплуатации электрофилтров, прилагаемыми к технической документации заводом-изготовителем. Оперативный персонал должен иметь квалификацию не ниже III группы. Приемочная комиссия должна руководствоваться утвержденным проектом установки электрофилтров, а также «Правилами производства и приемки монтажных работ» (СНП III-Г.10.12—66).

Перед проведением проверки, испытаний и приемки электрофилтра необходимо выполнить следующие подготовительные работы:

произвести смазку узлов и механизмов электрофилтра в соответствии с картой смазки;

удалить из электрофилтра и изоляторных коробок посторонние предметы;

поставить на звездочках или на приливах редукторов механизмов встряхивания стрелки, показывающие направление движения вращающихся частей; такие же стрелки следует установить на шнберах входного и выходного газоходов электрофилтра;

проверить правильность монтажа оборудования электрофилтра и его соответствие техническим условиям; замеченные недоделки устранить;

выполнить все мероприятия и монтаж устройств, предусмотренных правилами техники безопасности при эксплуатации электрофилтров; завести журнал, где отмечаются все замечания в процессе обкатки, испытания и опробования электрофилтра, показания приборов, характеристики аппарата, а также распоряжения ответственного лица;

произвести проверку механизмов встряхивания и их обкатку в течение 24 ч;

произвести наладку агрегатов питания и опробование полей (полуполей) электрофилтра током высокого напряжения.

Рекомендации по подключению агрегатов питания и приводных электродвигателей к питающей сети

Агрегаты питания должны быть подключены таким образом, чтобы их нагрузка равномерно распределялась по фазам питающей сети. Подключение приводных электродвигателей системы встряхивания необходимо выполнить таким образом, чтобы обеспечить правильное направление вращения приводных валов механизмов. После окончания монтажа необходимо сделать надписи на всех установленных агрегатах питания и оборудования.

Необходимо изготовить нужное количество переносных заземлений, оборудовать помещение подстанции необходимым комплектом защитных средств, плакатов. По окончании монтажных работ необходимо проверить качество их выполнения, обратив особое внимание на испытание контура заземления электрофилтра, сопротивление изоляции в цепях агрегатов питания и сигнализации.

Рекомендации по обкатке механизмов встряхивания. Проверку и обкатку механизмов встряхивания необходимо выполнять в следующей последовательности:

проверить правильность положения молотков на молотковых валах; не должно быть преждевременно перекинутых молотков;

кратковременными включениями приводных электродвигателей убедиться в том, что молотковые валы вращаются в нужном направлении; в случае обратного вращения вала переключить фазы электродвигателя; включать в постоянную работу электродвигатели приводов последовательно один за другим и вести наблюдение через люки за работой механизмов; валы должны вращаться равномерно, молотки должны падать резко;

обкатку механизмов встряхивания вести в течение 24 ч при постоянно включенных электродвигателях приводов, при этом проверить плавность работы цепных передач, нагрев подшипников редукторов, нагрев подшипников электродвигателей, интенсивность встряхивания электродов; редукторы приводов не должны нагреваться более 50 °С, в них не должно быть стуков; пальцевые шестерни должны работать плавно; валы не должны защемляться в подшипниках или вращаться рывками;

в конце обкатки рекомендуется проверить мощность, потребляемую электродвигателями приводов встряхивания. Увеличение потребляемой мощности свыше допустимой является следствием перекоса подшипников, неудовлетворительной центровки валов, недостаточной смазки.

После 24 ч обкатки механизмы встряхивания необходимо остановить, произвести их осмотр, а также осмотреть электроды и их нако-

валыни; в механизмах встряхивания не должно быть ослабевших креплений, при их обнаружении необходимо крепежные детали или подтянуть и вновь законтрить гайки, или срезать обваренные болты и заменить новыми с последующей обваркой; не должно быть ослабевших наковален на коронирующих электродах; наковальни коронирующих электродов должны воспринимать центральный удар с отклонениями не более 5 мм в любую сторону от осевой плоскости электрода.

Проверка и обкатка механизмов встряхивания должны производиться эксплуатационным персоналом в присутствии представителей монтажной организации и шеф-персонала. Устранение неисправностей производит монтажная организация согласно указаниям шеф-персонала [95].

Технологические испытания электрофильтров

Испытания электрофильтра проводят после пуска новой установки или ее капитального ремонта, а также периодически в процессе эксплуатации. В зависимости от поставленных задач могут проводиться комплексные или эксплуатационные испытания. Комплексные испытания позво-

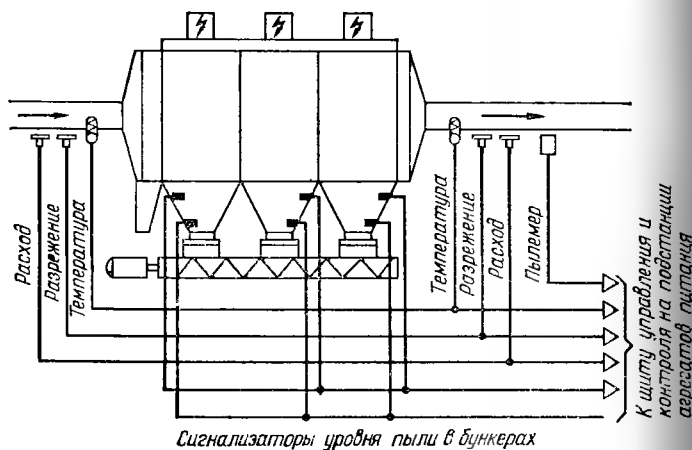


Рис. 4.59. Схема технологического контроля электрофильтра

ляют получить показатели, к сохранению которых следует стремиться при повседневной эксплуатации, поэтому они осуществляются лишь после наладки пылеулавливающей установки. Эти испытания рекомендуется проводить с привлечением специализированной организации.

Эксплуатационные испытания позволяют получить достаточно точную характеристику работы электрофильтра при его фактическом состоянии, существующем режиме работы и имеющемся уровне культуры

эксплуатации. Эксплуатационный контроль электрогазоочистных установок проводят, как правило, силами предприятия. Периодичность проведения замеров устанавливают в зависимости от категории вредности пылевых выбросов в атмосферу. На рис. 4.59 приведена схема технологического контроля работы электрофильтра.

Испытания электрофильтров включают в себя измерения электрических параметров (вольт-амперные характеристики, оптимальные значения напряжения, тока короны и мощности коронного разряда), а также основных технологических параметров (скорость газа в активном сечении аппарата, объем газов, температура, запыленность на выходе из аппарата, дисперсность пыли, степень очистки газов). Важной характеристикой является также удельное электрическое сопротивление пыли.

Методика проведения электрических измерений при испытаниях электрофильтров. Электрические измерения включают измерение вольт-амперных характеристик, определение предельных и критических параметров полей электрофильтра, а также определение основных характеристик электроагрегатов питания. Измерения вольт-амперных характеристик необходимы для определения предельных электрических параметров и выявления обратной короны. Вольт-амперные характеристики каждого поля (или полуполя) электрофильтра должны сниматься при постоянном технологическом режиме. Для этого необходимо поддерживать постоянный электрический режим на предыдущих полях электрофильтра.

Снимать вольт-амперные характеристики следует не менее 5 раз, доводя напряжение до пробоя. Механизмы встряхивания электродов должны быть включенными. Следующая серия характеристик измеряется при отключенных механизмах встряхивания данного поля. При этом фиксируются напряжение на электродах и ток короны при подъеме и снижении напряжения. Цикл измерений каждой характеристики проводится с максимально возможной скоростью вручную. При наличии обратной короны нисходящая ветвь вольт-амперной характеристики должна находиться выше восходящей ветви.

Для определения критических параметров электрофильтра необходимо провести измерения зависимости электрического режима данного поля от режима предыдущего поля. При этом устанавливают предельный электрический режим (без пробоев) при отключенном напряжении на предыдущем поле и, поднимая ступенями напряжение на предыдущем поле, фиксируют ток короны и высокое напряжение на обоих полях. Затем фиксируют ток и напряжение, при которых появляются искровые пробои на предыдущем поле. После дугового пробоя ступенями снижают напряжение, снимая вольт-амперные характеристики.

По экспериментальным данным строят зависимости напряжения (тока) каждого поля от напряжения (тока) предыдущего поля. Если имеется обратная корона, ток, соответствующий экстремуму указанных зависимостей, является критическим. Более подробно методика электрических испытаний агрегатов питания электрофильтров изложена в работах [17, 24, 40, 71].

Характерные неисправности в электрофильтрах и рекомендации по их устранению

В табл. 4.12 рассмотрены наиболее часто встречающиеся неисправности, возникающие при эксплуатации современных электрофильтров, и даны рекомендации по их устранению.

Признаки неисправности	Причины	Способ устранения или предупреждения
Электрофильтр не «держит» напряжение. При включении агрегата питания срабатывает система защиты	В электрофильтре или изоляторных коробках оставлены посторонние предметы Разрушен опорно-проходной изолятор (перекос рамы коронирующих электродов) При пуске фильтра изоляторы покрыты слоем сконденсировавшейся влаги — не включены или перегорели электрообогревательные элементы в изоляторной коробке Обрыв коронирующего электрода; короткое замыкание в поле Пробит высоковольтный кабель	Осмотреть поля электрофильтра и изоляторные коробки, удалить посторонние предметы Заменить изолятор и выровнять раму коронирующих электродов Включить электрообогрев изоляторных коробок. Автоматизировать включение обогрева в зависимости от температуры в изоляторной коробке путем установки контактных термометров Удалить оборвавшийся электрод; при ремонте фильтра восстановить Отсоединить шину в изоляторной коробке. Определить место пробоя в кабеле. Заменить поврежденный участок или кабель Протереть изоляторы чистыми сухими тряпками. Проверить положение регулятора расхода обдувочного воздуха. При частых загрязнениях выполнить шапки изоляторов разборными Необходим ремонт деформированных электродов
Электрофильтр работает с пониженным напряжением. При повышении напряжения с помощью ручного регулирования срабатывает система защиты	Загрязнены изоляторы Деформированы осадительные электроды из-за нарушения технологических параметров пылегазового потока (высокая температура) Деформация электродов за счет переполнения уловленной пылью нижней части фильтра	Откачать пыль из электрофильтра и исправить деформированные электроды
При нормальном рабочем напряжении электрофильтра наблюдается резкое увеличение тока короны	Выступы и острые кромки на электродах Утечка тока по изоляторам Нарушение технологического процесса, например повышенное влажосодержание газов	Найти и ликвидировать выступы, огарки электродов, обрезать выступающие за гайки стержни болтов и т. п. Протереть изоляторы Сообщить на пульт управления основного технологического процесса и до стабилизации режима выключить напряжение с электрофильтра Проверить эффективность системы встряхивания и при необходимости усилить массу ударных молотков Проверить систему, дефектные детали заменить Сообщить на пульт управления основного технологического процесса
При нормальном рабочем напряжении электрофильтра наблюдается понижение тока короны	Из-за слабого возмущающего усилия ударных молотков на электродах образовался слой пыли Электроды не встряхиваются и обрастают пылью Из-за изменения технологического режима увеличилась степень слипаемости пыли	Проверить эффективность системы встряхивания и при необходимости усилить массу ударных молотков Проверить систему, дефектные детали заменить Сообщить на пульт управления основного технологического процесса
При включении электрофильтра нет расхода тока короны	Коронирующие электроды заросли пылью из-за плохого встряхивания Отгорела шина подвода тока высокого напряжения внутри изоляторной коробки Неисправен агрегат	Найти и устранить неисправность Восстановить шину
Резко ухудшилась работа электрофильтра (снижение к. п. д.) с нарушением режима	Часто забита пылью газораспределительная решетка, нарушена равномерная раздача газопылевого потока по сечению электрофильтра Не работает система удаления пыли из бункеров	Заменить неисправный агрегат на резервный и устранить неисправность Проверить работу системы встряхивания газораспределительных решеток. Измерить и проанализировать вольт-амперные характеристики I поля электрофильтра. При необходимости остановить электрофильтр для ремонта. При отсутствии механизмов встряхивания решеток предусмотреть их установку Сделать ревизию механизмов пылеудаления. Проверить работу вибраторов на бункерах

Признаки неисправности	Причины	Способ устранения или предупреждения
На коронирующих электродах образовались наросты пыли диаметром 25—30 мм с разрывами по длине электрода	Большие подсосы воздуха в бункерной части электрофильтров Слабый удар молотков по наковальням, заедает валы с молотками в пылевых подшипниках из-за неправильной центровки или смещения подшипников Слабое встряхивание коронирующих электродов	Ликвидировать подсосы Произвести центровку валов с молотками смещением пылевых подшипников в вертикальной и горизонтальной плоскостях, закрепить подшипники, обварить болты и гайки Отрегулировать силу удара молотков
На коронирующих электродах образовались сплошные наросты без разрывов диаметром до 100 мм	Не работает привод механизма встряхивания Оборван шатунный изолятор внутри изоляторной коробки	Устранить неисправности Заменить бумажно-бакелитовый шатунный изолятор
На осадительных электродах образуется слой пыли толщиной 10—15 мм	Большая пауза между включением системы встряхивания Ударный молоток не доходит до наковальни (осевое смещение) Оборвался один или несколько молотков Не работает привод системы встряхивания	Уменьшить паузу между включениями Установить молоток строго по центру наковальни Установить новые молотки Устранить неисправность
Усиленная коррозия корпуса электрофильтра	Нарушена теплоизоляция Большие подсосы холодного воздуха через различные неплотности (сальники, люки, взрывные клапаны и др.)	Восстановить теплоизоляцию Заварить неплотности, уплотнить люки, набить сальники, устранить подсосы
Очистка газов электрофильтром резко ухудшилась без заметного изменения электрических показателей	Газораспределительные решетки забиты пылью, газ внутри электрофильтра идет одной стороной активного сечения с повышенной скоростью Не работает пылеудаление и бункера полны золы, увеличился унос пыли Большие подсосы воздуха в бункерной части фильтра	Проверить газораспределительные решетки. Исправить неполадки в механизме встряхивания газораспределительных решеток Прочистить механизмы пылеудаления, устранить их неисправность Ликвидировать подсосы
Отложение пыли на осадительных коронирующих электродах	Мал период встряхивания Вышел из строя механизм встряхивания	Увеличить период включения механизмов встряхивания Восстановить работу механизмов встряхивания
Слабый удар молотков по наковальням коронирующих электродов — на элементах обнаружены «колбасы»	Заедание валов с молотками в пылевых подшипниках из-за неправильной центровки или смещения подшипников Коронирующие электроды встряхиваются слабо	Произвести центровку молотковых валов, проверить крепление подшипников и молотков встряхивания. Устранить заедание молотков встряхивания Устранить неисправности, отрегулировать удар молотков
Недостаточное встряхивание осадительных электродов	Мал период встряхивания	Увеличить период включения механизмов встряхивания
Нет передачи вращения на механизме встряхивания коронирующих и осадительных электродов от приводов, срабатывают предохранительные муфты (храповики)	Заклинивание молотковых валов механизмов встряхивания осадительных и коронирующих электродов	Проверить подшипниковые узлы механизмов встряхивания. Отрегулировать зубчатую предохранительную муфту на момент 60—80 кг·м для механизмов встряхивания осадительных электродов и на 30—50 кг·м для механизмов встряхивания коронирующих электродов
На валах-изоляторах заметные подтеки масла	Слабо затянут сальник угловой передачи на вал-изолятор	Подтянуть сальник или сменить набивку сальника

5.1. КЛАССИФИКАЦИЯ АППАРАТОВ

Целесообразность использования мокрых аппаратов обычно определяется не только задачами очистки газов от пыли, но и необходимостью одновременного охлаждения и осушки (или увлажнения) газов, улавливания туманов и брызг, абсорбции газовых примесей и др. При современном уровне развития техники пылеулавливания наметилась тенденция применения сухих пылеуловителей, однако в ряде случаев мокрые пылеуловители конкурируют с такими высокоэффективными аппаратами, как рукавные фильтры и электрофильтры.

Основными преимуществами мокрых пылеуловителей являются: сравнительно небольшая стоимость (без учета шламового хозяйства) и более высокая эффективность улавливания частиц по сравнению с сухими механическими пылеуловителями: возможность применения для очистки газов от частиц размером до 0,1 мкм, а также использования в качестве абсорберов, для охлаждения и увлажнения (кондиционирования) газов в качестве теплообменников смешения.

К недостаткам пылеуловителей относятся: возможность забивания газоходов и оборудования пылью (при охлаждении газов) и потери жидкости вследствие брызгоуноса; необходимость антикоррозионной защиты оборудования при фильтрации агрессивных газов и смесей.

В мокрых пылеуловителях в качестве орошающей жидкости чаще всего применяется вода; при совместном решении вопросов пылеулавливания и химической очистки газов выбор орошающей жидкости (абсорбента) обуславливается процессом абсорбции.

Мокрые пылеуловители подразделяются на группы в зависимости от поверхности контакта или по способу действия:

- полые газопромыватели (оросительные устройства; промывные камеры; полые форсуночные скрубберы);
- насадочные скрубберы;
- тарельчатые газопромыватели (барботажные и пенные аппараты);
- газопромыватели с подвижной насадкой;
- мокрые аппараты ударно-инерционного действия (ротоклоны);
- мокрые аппараты центробежного действия;
- механические газопромыватели (механические скрубберы, динамические скрубберы);
- скоростные газопромыватели (скрубберы Вентури, эжекторные скрубберы).

Помимо перечисленных групп, к мокрым пылеуловителям в какой-то степени могут быть отнесены мокрые электрофильтры, орошаемые волокнистые фильтры и аппараты конденсационного действия.

Иногда мокрые пылеуловители подразделяют по затратам энергии на низконапорные, средненапорные и высоконапорные. К низконапорным аппаратам относятся пылеуловители, гидравлическое сопротивление которых не превышает 1500 Па. В эту группу входят форсуночные скрубберы, барботеры, мокрые центробежные аппараты и др. К средненапорным мокрым пылеуловителям с гидравлическим сопротивлением от 1500 до 3000 Па относятся некоторые динамические скрубберы, газопромыватели ударно-инерционного действия, эжекторные скрубберы. Группа высоконапорных газопромывателей с гидравлическим сопротивлением больше 3000 Па включает в основном скрубберы Вентури и дезинтеграторы.

5.2. РАСПЫЛИВАЮЩИЕ УСТРОЙСТВА МОКРЫХ ПЫЛЕУЛОВИТЕЛЕЙ

Надежная и эффективная работа мокрых пылеуловителей (полых форсуночных скрубберов, скрубберов Вентури, эжекционных аппаратов и др.), принцип действия которых основан на взаимодействии улавливаемых частиц с каплями орошающей жидкости, в немалой степени зависит от правильного выбора распыливающих устройств (форсунок). В табл. 5.1 приведены сравнительные характеристики разных способов распыливания жидкости в мокрых аппаратах.

В газоочистных аппаратах для подачи жидкости в основном используются форсунки, которые подразделяются на три основные группы: механического, пневматического и электрического действия. Механические форсунки, наиболее распространенные в газоочистных аппаратах, бывают прямого действия, центробежные и ультразвуковые (табл. 5.2). На рис. 5.1 показаны типы механических форсунок: струйные $a-d$, струйно-ударные $e-k$, с внешним соударением струй $л-о$, центробежные $п-у$, центробежно-струйные $ф-щ$. Сведения о конструкциях форсунок подробно изложены в [96, 36, 44].

В насадочных скрубберах и тарельчатых аппаратах задача орошающей жидкости осуществляется с помощью оросителей. В отличие от форсунок назначение оросителей заключается не в создании тонкого распыла жидкости, а лишь в равномерном распределении ее по сечению аппарата [36]. На рис. 5.2 приведены основные типы оросителей [97].

Основные характеристики механических форсунок

Характеристики форсунок зависят от ряда факторов: физических свойств газа и жидкости, класса и геометрии форсунки, скорости истечения и др., причем одни из них в большей степени связаны с геометрией распылителя, а другие — со свойствами распыливаемой жидкости [96]. Дисперсность распыла в значительной степени зависит от физических свойств жидкости. С возрастанием вязкости (рис. 5.3, a) и поверхностного натяжения размер капель увеличивается. Влияние физических свойств окружающего газа незначительно.

С увеличением давления жидкости перед форсункой средний размер капель уменьшается (рис. 5.3, b), но с ростом давления скорость изменения размера капель снижается. Из геометрических факторов наибольшее влияние на степень распыла оказывает диаметр соплового отверстия: при его увеличении размер частиц линейно возрастает (рис. 5.3, b); наиболее тонкий и однородный распыл характерен для центробежных форсунок, а самый грубый — для струйных и струйно-ударных. Центробежно-струйные форсунки обеспечивают распыл среднего дисперсного состава.

Расходные характеристики форсунок определяются в основном конструктивными факторами и мало зависят от физических свойств распыливаемой жидкости и окружающей среды. Максимальных значений коэффициента расхода достигает у струйных форсунок (0,75—0,98), а минимальных — у центробежных (0,2—0,5). У остальных форсунок значения коэффициентов расхода имеют промежуточные значения.

Коэффициент скорости в меньшей степени связан с классом форсунок и в зависимости от ее конструктивных особенностей имеет значения 0,3—0,9.

Характеристики распределения жидкости зависят только от конструктивных факторов и расстояния до форсунки, поэтому равномерность заполнения факела определяется классом форсунки (рис. 5.4).

СРАВНИТЕЛЬНЫЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ СПОСОБОВ РАСПЫЛИВАНИЯ
ЖИДКОСТИ В МОКРЫХ АППАРАТАХ [96]

Способ распыливания	Энергетические затраты на распыл 1 т раствора, кВт	Диаметр капли, мм	Равномерность распределения капель по сечению факела	Степень сложности конструкций распыливающего устройства	Склонность к засорению	Примечание
Механическое с помощью форсунок	2—6	0,05—3,5	Центробежно-струйные форсунки дают равномерное распределение	Простая	Низкая	Надежна в эксплуатации, незначительная стоимость
Механическое вращающимися распылителями .	10—20	0,01—1	Дают малый угол распыла	Имеет вращающиеся части	»	Дает возможность распыливать вязкие жидкости
Пульсационное	4—8	0,02—2,5	Отдельные типы форсунок дают равномерное распределение	То же	Высокая	—

Продолжение табл. 5.1

Способ распыливания	Энергетические затраты на распыл 1 т раствора, кВт	Диаметр капли, мм	Равномерность распределения капель по сечению факела	Степень сложности конструкций распыливающего устройства	Склонность к засорению	Примечание
Ультразвуковое	2—7	0,001—0,02	Равномерное	Сложная	Низкая	Незначительные расходы жидкости; высокая стоимость оборудования
Пневматическое	20—70	0,005—0,2	»	Сложная, требуется дополнительное оборудование для подачи газовой фазы	Высокая	Дает возможность распыливать вязкие жидкости
Электрическое	50—100	0,003—0,2	»	Сложная	Низкая	Незначительные расходы жидкости, высокая стоимость оборудования

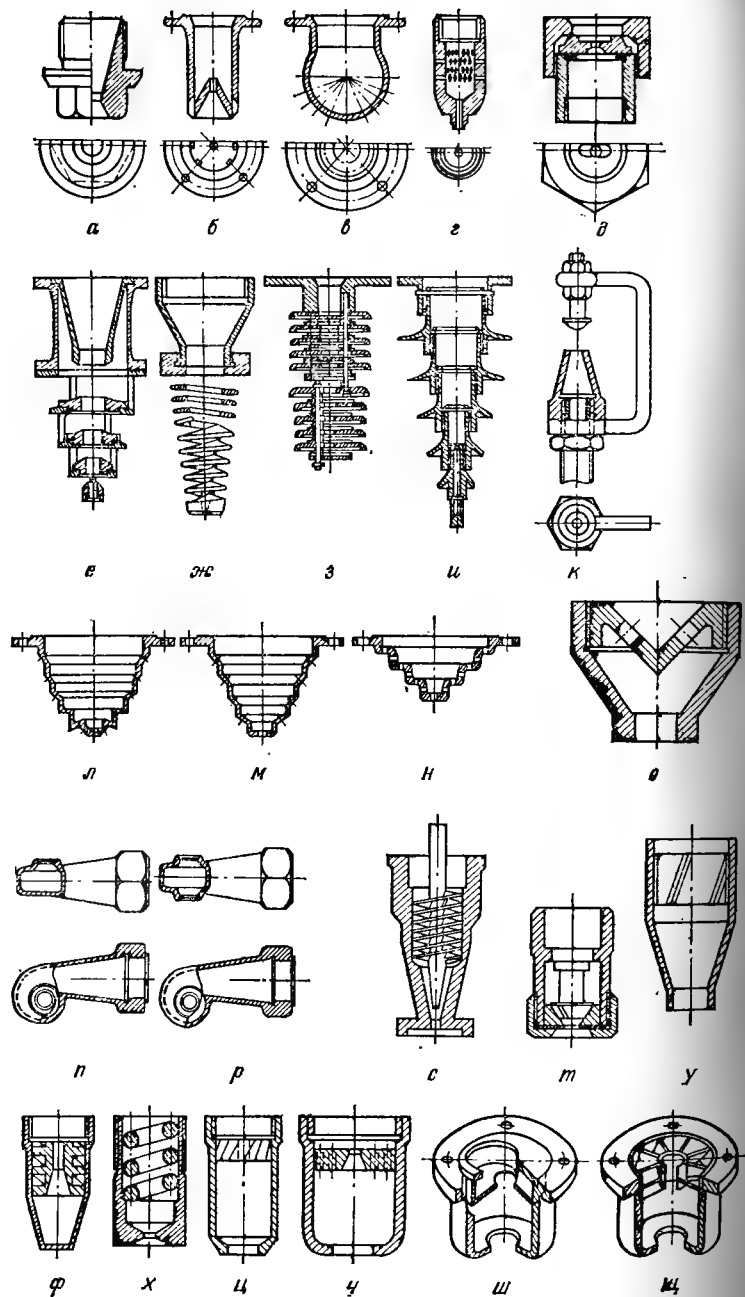


Рис. 5.1. Механические форсунки:

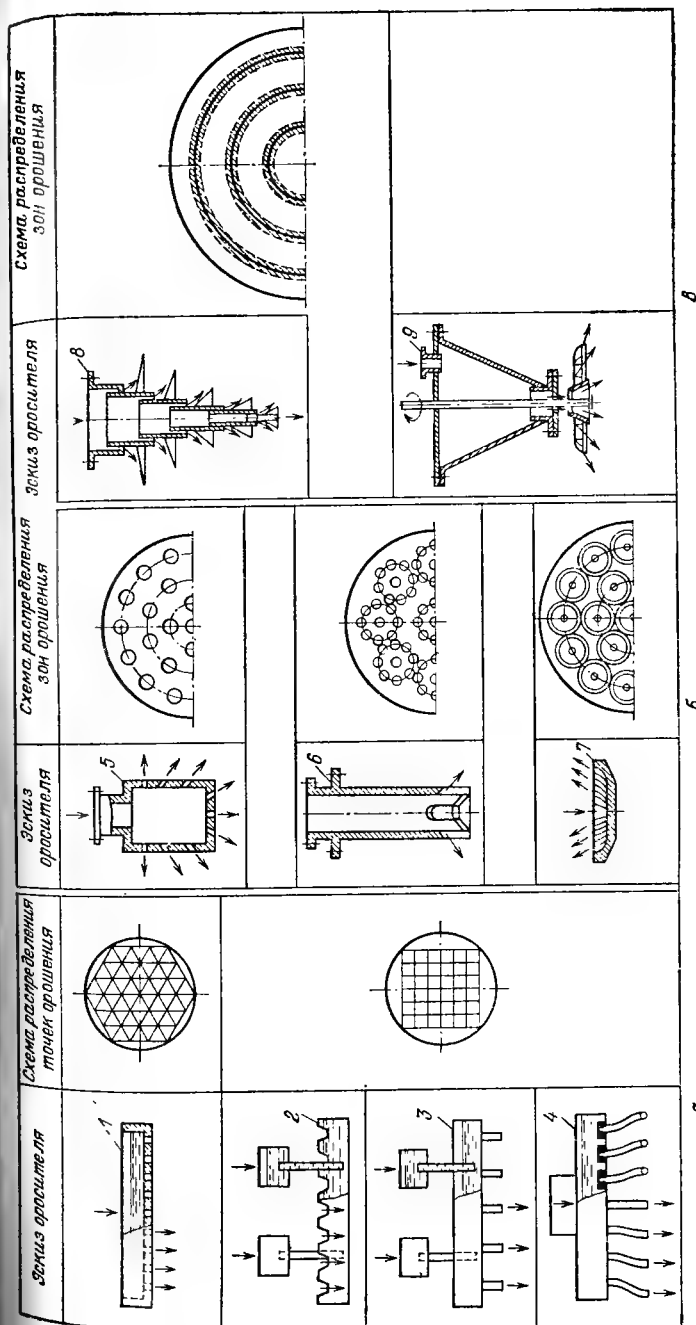


Рис. 5.2. Основные типы оросителей:

а — точечное орошение; б — зональное орошение; в — сплошное орошение; г — распределительная плита; 2 — желоб с боковыми профилями; 3 — желоб с длинными патрубками; 4 — многотрубчатый ороситель; 5 — перфорированный стакан; 6 — щелевая брызгалка; 7 — розетка; 8 — многоконусный ороситель; 9 — разбрызгивающая звездочка

ОСНОВНЫЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ МЕХАНИЧЕСКИХ ФОРСУНОК [96]

Класс форсунки	Конструкция форсунок на рис. 5.1, а—щ	Характеристики форсунок					
		давление жидкости перед форсункой P , 10^5 Па	диаметр соплового отверстия d_c , мм	вязкость жидкости μ , П	корневой угол факела β , град	диаметр каплей $d_{3,2} \times (10^{-3})$, мкм	расход жидкости U , м ³ /ч
Струйная	<i>a</i>	50—200	4,76	0,8—0,95	5	0,08—0,1	5,8—12
»	<i>a</i>	0,1—2,5	0,34—1,2	0,8—0,9	—	0,15—0,5	0,005—0,01
»	<i>a</i>	280	0,4—0,8	0,7—0,8	5—8	0,02—0,03	0,02
»	<i>a</i>	2—8	2—12	0,92—0,97	5	—	0,2—8,7
Струйная, веерная	<i>d</i>	0,7—0,8	0,79—9,5	0,71—0,94	50—90 (5—8)	—	0,025—2,6
С соударением струй	<i>л—o</i>	0,5—2	1—3	—	—	0,2—0,4	0,14
С соударением струй (число сопел 165 и 193)	<i>л</i>	4—50	0,78—1,3	0,4—0,5	50—80	—	0,04—0,14
Центробежная, винтовая конструкция (Григорьева)	<i>m</i>	0,25—0,3	10	0,47—0,62	110—150	—	1,1
Центробежная	<i>m</i>	10—60	0,78	—	—	0,05	0,03—0,09
Центробежная конструкция (ЦККБ)	<i>m</i>	1—6	1,1—5	0,27—0,5	—	—	0,015—0,94
Центробежная, винтовая (вкладыш штампованный)	<i>m</i>	1—2	—	0,3—0,5	55—90	—	—
Центробежная	<i>m</i>	5—10	1,6—7	0,2—0,4	70—80	—	0,1—1,75
Центробежная, тангенциальная	<i>m</i>	5—15	3—10	0,18—0,53	100—120	0,5—0,35	0,24—4,5
Центробежная, тангенциальная	<i>m</i>	—	0,26—1,03	0,3—0,5	—	—	—
Центробежная, винтовая и тангенциальная	<i>n, p</i>	3,5—70	1,4—19	0,2—0,5	40—100	—	0,06—25,0
Центробежная, винтовая конструкция (ЦККБ)	<i>n</i>	10—20	5	0,27—0,33	78—85	0,26—0,31	1,2
Центробежная, тангенциальная	<i>n</i>	10—20	6	0,18—0,28	84—93	0,27—0,29	1,6
Центробежная, тангенциальная	<i>n, p</i>	1—15	2,4	0,15—0,18	40—75	0,12—0,27	0,04—0,15
То же		16—29	0,786	0,35—0,39	—	0,055—0,065	0,033—0,046
»		18	1,016	0,34	—	0,072	0,057
21* Центробежная, винтовая	<i>e</i>	6—30	0,78	0,76—0,78	30	0,16—0,26	0,046—0,104
То же	<i>y</i>	2—8	2—12	0,5—0,6	30—60	—	0,12—0,8
»	<i>y</i>	2—9	1—2	0,25—0,4	40	0,05—0,15	0,03
Центробежная, тангенциальная	<i>y</i>	15	5—6	0,20—0,26	65—75	0,25—0,28	1,2
Центробежная, винтовая	<i>y</i>	15	5	0,26	85	0,28	1,1
Центробежная	<i>y</i>	3,5—14	1,6—3,25	—	—	0,18—0,34	0,48
»	<i>c</i>	0,7—7	1,2—9,5	0,26—0,55	70—90	—	0,025—3,6
Центробежная конструкция (НИИстройкерамика)	<i>c</i>	13—20	2,1—4,7	0,55	50	0,23—0,25	0,9
Центробежная, тангенциальная	<i>c</i>	2,1—7,2	0,85—4,3	0,14—0,44	65—100	0,15—0,8	0,017—0,068
Центробежная	<i>m</i>	3,5—24,5	0,4—10	—	50—100	0,04—1,2	0,005—3,3
»	<i>p</i>	3,5—24,5	0,4—10	—	50—95	0,04—1,2	0,005—3,3
»	<i>y</i>	3,5—24,5	0,4—10	—	85	0,04—1,2	0,005—3,3
Центробежная, тангенциальная	<i>y</i>	3,5—24,5	0,4—10	—	70—95	0,04—1,2	0,005—3,3
Центробежно-струйная	<i>ф—щ</i>	0,5—1,5	64	0,55—0,7	81—93	1,5—3,5	100
То же		0,5—1,5	80	0,4—0,45	81—93	1,5—3,5	110
»		0,5—1,5	92	0,33—0,4	91—93	1,5—3,5	110
»	<i>ф</i>	4—8	2—7	—	—	0,2—0,45	1,2
»	<i>ф</i>	0,5—5	8—35	0,5—0,6	—	—	1,4—54
»	<i>ц</i>	1—10	2—12	0,7—0,9	10—70	0,2—0,7	0,045—14,6
»	<i>ц</i>	2—12	2,5—7,5	0,7—0,75	80—85	0,2—0,4	0,23—5,5
»	<i>ш</i>	0,6—12	64—92	0,5—0,8	85—90	2,5—4	130—170
»	<i>ф</i>	0,7—7	1,2—12,7	0,47—0,74	55—85	—	0,037—9,4
Центробежно-струйная тангенциальная	<i>щ</i>	1,4	1—3	0,7—0,95	30—90	—	0,036—0,31
Центробежно-струйная («Варкоус»)	<i>щ</i>	6	4,2	0,8	30	0,7	5,5
Ударно-струйная	<i>к</i>	2—10	4,5—14	—	40—170	—	—

Объемный расход жидкости $Q_{ж}$, м³/с, распыливаемой форсункой, определяется по формуле

$$Q_{ж} = \frac{\pi d_c^2}{4} \xi \sqrt{2p_{ж}/\rho_{ж}}, \quad (5.1)$$

где d_c — диаметр сопла форсунки, м; ξ — коэффициент расхода жидкости; $p_{ж}$ — напор, давление жидкости перед форсункой, Па; $\rho_{ж}$ — плотность жидкости, кг/м³.

Скорость истечения жидкости из сопла форсунки $\omega_{ист}$, м/с, исчисляется по формуле

$$\omega_{ист} = 4Q_{ж}/(\pi d_c^2 \varphi), \quad (5.2)$$

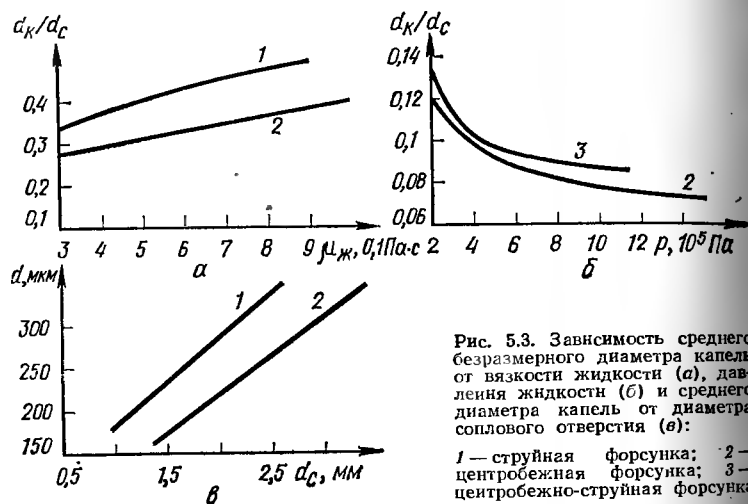


Рис. 5.3. Зависимость среднего безразмерного диаметра капель от вязкости жидкости (а), давления жидкости (б) и среднего диаметра капель от диаметра соплового отверстия (в):

1 — струйная форсунка; 2 — центробежная форсунка; 3 — центробежно-струйная форсунка

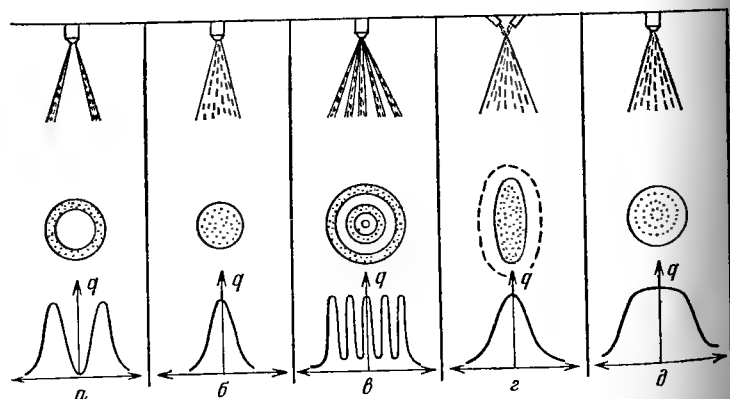


Рис. 5.4. Формы факела механических форсунок:

а — центробежной; б — струйной; в — струйно-ударной; г — с соударением струй; д — центробежно-струйной

где φ — коэффициент заполнения сопла. Для большинства форсунок $\varphi < 1.0$.

Методы расчета и подбора форсунок изложены в [36, 44, 97].

5.3. ГАЗОПРОМЫВАТЕЛИ

Полые газопромыватели

В полых газопромывателях газопылевой поток пропускают через завесу распыливаемой жидкости. При этом частицы пыли захватываются каплями промывной жидкости и осаждаются в промывателе, а очищенные газы удаляются из аппарата. Наиболее распространенным аппаратом этого класса является полый форсуночный скруббер (рис. 5.5). Он широко используется как для очистки газов от достаточно крупных частиц пыли, так и для охлаждения газов, выполняя в различных системах пылеулавливания роль аппарата, обеспечивающего подготовку (кондиционирование) газов [28].

Аппарат представляет собой колонну круглого или прямоугольного сечения, в которой осуществляется контакт между очищаемыми газами и каплями жидкости, распыливаемой форсунками. По направлению движения газов и жидкости полые скрубберы делятся на противоточные, прямоточные и с поперечным подводом жидкости.

В наиболее распространенном противоточном скруббере капли из форсунок падают навстречу запыленному потоку газов; они должны быть достаточно крупными, чтобы их не унес пылегазовый поток.

В полых газопромывателях обычно устанавливают центробежные форсунки грубого распыла, работающие под давлением от 0,3 до 0,4 МПа и создающие капли требуемого размера. Применение таких форсунок позволяет работать на оборотной воде, содержащей взвеси.

При применении высокоскоростных скрубберов с линейной скоростью газов 5—8 м/с рекомендуется установка каплеуловителя.

Степень очистки в полном форсуночном скруббере достигает 99 % при улавливании частиц размером > 10 мкм и резко снижается при размере < 5 мкм.

Расчет полового газопромывателя проводится в следующей последовательности. Исходные данные: расход очищаемых газов $Q_{г}$, плотность газов $\rho_{г}$, плотность частиц улавливаемой пыли $\rho_{ч}$, ее дисперсный состав.

1. Исчисляется площадь сечения скруббера, м²:

$$S = Q_{г}/w_{г}, \quad (5.3)$$

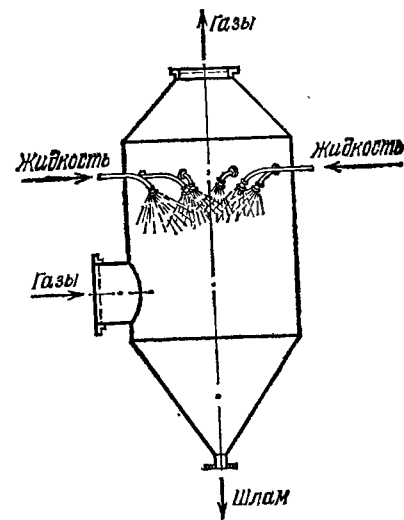


Рис. 5.5. Полый форсуночный скруббер

причем скорость w_t принимается около 1 м/с (при условиях на выходе газов из аппарата). При большей скорости устанавливается каплеуловитель. Высота противоточного скруббера принимается $H \approx 2,5 D$.

2. Определяется удельный расход жидкости m . Величина m выбирается в пределах от 0,5 до 8 л/м³ газов. При больших концентрациях пыли на входе (10—12 г/м³) m принимается равной 6—8 л/м³. Отсюда общий расход жидкости, подаваемой на орошение аппарата:

$$Q_{ж} = m Q_{г}. \quad (5.4)$$

3. Гидравлическое сопротивление полого скруббера при отсутствии встроенного каплеуловителя и газораспределительной тарелки обычно не превышает 250 Па.

Расчеты для конкретных случаев можно проводить по методике, изложенной в [98].

Насадочные газопромыватели

Насадочные газопромыватели представляют собой колонны, заполненные телами различной формы (рис. 5.6). Эти аппараты рекомендуется применять только при улавливании хорошо смачиваемой пыли, особенно в тех случаях, когда процессы улавливания пыли сопровождаются охлаждением газов или абсорбцией. При улавливании плохо смачиваемой пыли (но не склонной к образованию твердых отложений) могут использоваться аппараты с регулярной и разреженной насадкой.

Широкое применение получили противоточные насадочные скрубберы, хотя используются конструкции и с поперечным орошением газов жидкостью (рис. 5.7).

Основными параметрами насадки (рис. 5.8) являются: удельная поверхность, свободный объем и эквивалентный диаметр. Удельная поверхность a представляет собой геометрическую поверхность насадочных тел и выражается в м²/м³. Свободный объем V_0 характеризует объем пустот насадки и выражается в м³/м³.

Расход орошающей жидкости в противоточных насадочных скрубберах принимают в пределах 1,3—2,6 л/м³. В насадочных газопромывателях с поперечным орошением для обеспечения лучшего смачивания поверхности насадки ее слой обычно наклонен на 7—10° по отношению к направлению пылегазового потока. Расход жидкости в аппаратах этого типа обычно выбирают в пределах 0,15—0,5 л/м³, эффективность при улавливании частиц размером $d_{т} \geq 2$ мкм превышает 90 % [36, 44, 97].

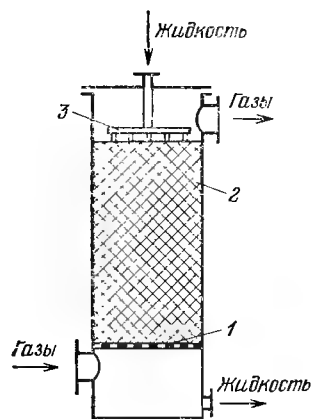


Рис. 5.6. Противоточный насадочный скруббер:

1 — опорная решетка; 2 — насадка; 3 — оросительное устройство

Тарельчатые газопромыватели

В основе этих аппаратов лежит взаимодействие газов с жидкостью на тарелках различной конструкции. Характер взаимодействия в значительной степени определяется скоростью газового потока. При малых скоростях (~1 м/с) газы проникают через слой жидкости в виде пузырей — происходит барботаж.

С ростом скорости газов взаимодействие газового и жидкостного потоков протекает более интенсивно и сопровождается образованием высокотурбулизованной пены, в которой происходит непрерывное разрушение,

слияние и образование новых пузырьков. По этому газопромыватели данного типа часто называют пенными аппаратами.

Разработан ряд конструкций тарельчатых (пенных) газопромывателей: аппарат с провальными тарелками (рис. 5.9, а), аппарат с пе-

Рис. 5.7. Насадочный скруббер с поперечным орошением:

1 — форсунки; 2 — опорные решетки; 3 — оросительное устройство; 4 — неорошаемый слой насадки (брызгоуловитель); 5 — шламособорник; 6 — насадка

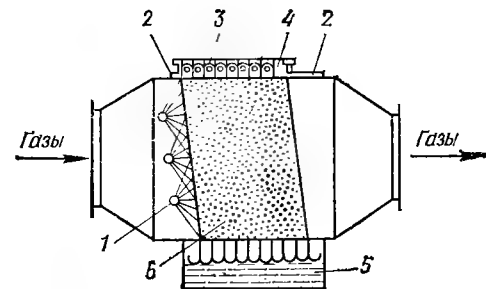
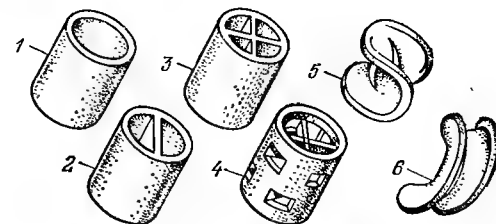


Рис. 5.8. Типы насадок:

1 — кольца Рашига; 2 — кольца с перегородкой; 3 — кольца с крестообразной перегородкой; 4 — кольца Палля; 5 — седла Берля; 6 — седла Инталокс



реливными тарелками (рис. 5.9, б). В аппарате с провальными тарелками применяются два вида тарелок: дырчатые и щелевые (рис. 5.10).

Щелевые тарелки изготавливают сварными из труб или пластин. Оптимальная с точки зрения гидравлического сопротивления тарелка должна иметь толщину 4—6 мм. Обычно диаметр отверстий в тарелках пенного пылеуловителя $d_0 = 4 \div 8$ мм; ширина щели $b = 4 \div 5$ мм, а свободное сечение V_0 колеблется в пределах 0,2—0,25 м²/м². В случае применения аппарата для охлаждения газов устанавливают тарелки с большим свободным сечением — до 0,4—0,5 м²/м² [99].

Пенный аппарат со стабилизатором пенного слоя (ПАСС) отличается от пенного аппарата с провальной тарелкой установкой непосредственно на тарелке стабилизатора, представляющего собой сотовую решетку из вертикально расположенных пластин, разделяющих сечение аппарата и пенный слой на небольшие ячейки (рис. 5.11).

Стабилизатор пены предотвращает возникновение волнового режима на тарелке вплоть до скорости газов 4,0 м/с, т. е. существенно расширяет скоростной интервал пенного режима. Наличие стабилизатора обуславливает значительное накопление жидкости на тарелке, и, следовательно, увеличение высоты пены по сравнению с уровнем при провальной тарелке без стабилизатора. Применение стабилизатора позволяет существенно сократить расход воды на орошение аппарата.

Рекомендуются следующие размеры стабилизатора: высота пластин 60 мм; размер ячеек — от 35×35 до 40×40 мм.

Оптимальными условиями работы аппарата являются $w_r = 2,5 \div 3,5$ м/с и $m = 0,05 \div 0,1$ л/м³. В аппарате устанавливаются дырчатые провалы тарелки с $d_o = 3 \div 6$ мм и $V_o = 0,14 \div 0,22$ м²/м² и щелевые (трубчатые) провалы тарелки с $b = 3 \div 6$ мм и $V_o = 0,12 \div 0,18$ м²/м². Диаметр труб в трубчатых тарелках $d_{тр} = 20 \div 32$ мм.

Типоразмерный ряд ПАСС (рис. 5.12) производительностью по газу от 3000 до 90000 м³/ч, включающий 12 типоразмеров, разработан институтом «Ленгипрогазоочистка». Корпус аппарата круглого сече-

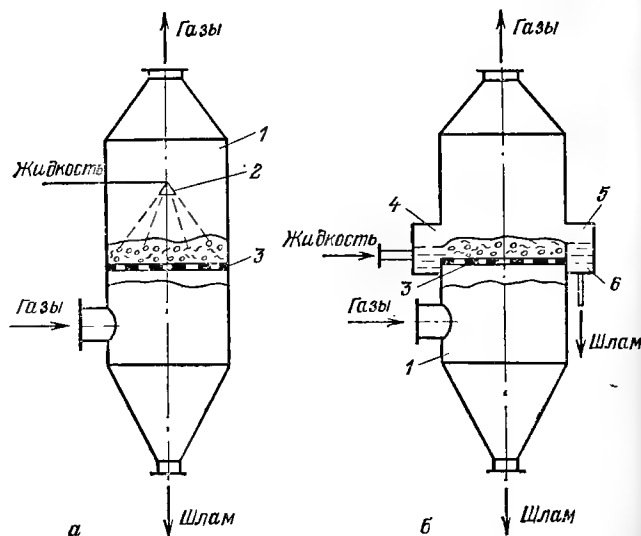


Рис. 5.9. Пенные пылеуловители:

а — с провальной решеткой; б — с переливной решеткой; 1 — корпус; 2 — оросительное устройство; 3 — тарелка; 4 — приемная коробка; 5 — порог; 6 — сливная коробка

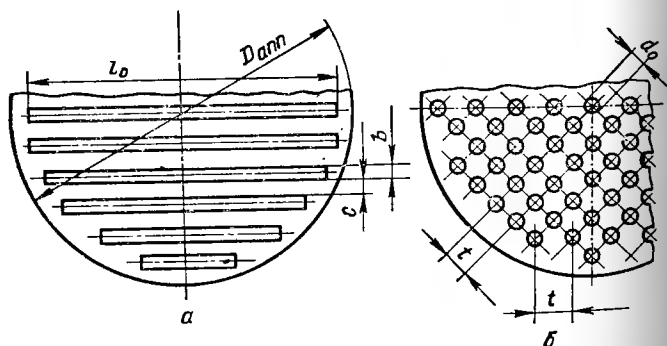


Рис. 5.10. Конструкция провальных тарелок:

а — щелевая; б — дырчатая

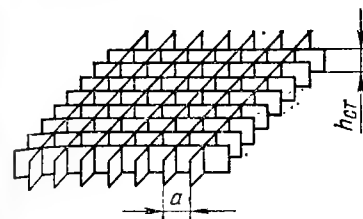


рис. 5.11. Стабилизатор

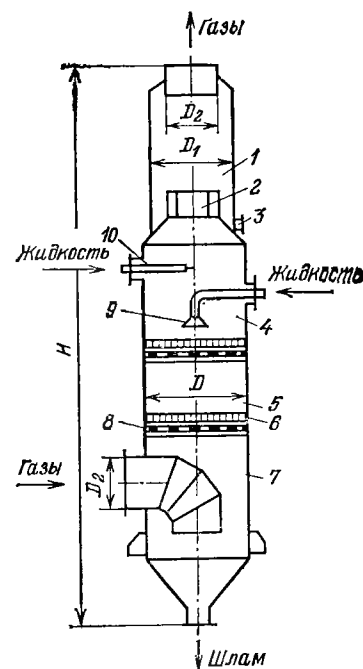


Рис. 5.12. Пенный аппарат ПАСС:

1 — брызгоуловитель; 2 — центробежный завихритель; 3 — патрубок для отвода жидкости из брызгоуловителя; 4 — верхняя секция; 5 — средняя секция; 6 — стабилизатор; 7 — нижняя секция; 8 — тарелка; 9 — ороситель; 10 — форсунка для периодического орошения завихрителя

ния собирается из секций, что позволяет производить компоновку с одной или двумя тарелками.

Аппарат типа ПВПР состоит из корпуса круглого сечения, в котором установлены трубчатые или крупнодырчатые пенообразующие решетки (одна или две) со стабилизаторами в виде сотовой решетки из вертикально расположенных пластин. Жидкость на решетки подается через форсунки, выполненные в виде трубы с отбойником. В верхней части аппарата размещен каплеуловитель, представляющий собой завихритель потока газа, набранный из лопаток специального профиля. Разработан также вариант конструкции ПВПР с каплеуловителем, встроенным непосредственно в верхнюю секцию, т. е. характеризующийся уменьшенной высотой всего аппарата, что упрощает компоновку в стесненных условиях. В аппарате предусмотрены форсунки для промывки отдельных конструктивных узлов. Скорость газа в аппарате составляет 2,5—4,5 м/с.

Технические характеристики аппаратов типа ПВПР приведены в табл. 5.3.

Пенные пылеуловители показали эффективную и надежную работу при очистке газов от пыли, фтора, серы, аммиака и др. в производстве минеральных удобрений, желтого фосфора, в алюминиевой и металлообрабатывающей промышленности [99, 100]. Методы подбора пенных аппаратов изложены в [44].

Изготовитель аппаратов — Павлодарский завод химического машиностроения.

Гидродинамический пылеуловитель ГДП (рис. 5.13) разработан НИПИОТСТРОМом [101]; он предназначен для очистки аспирацион-

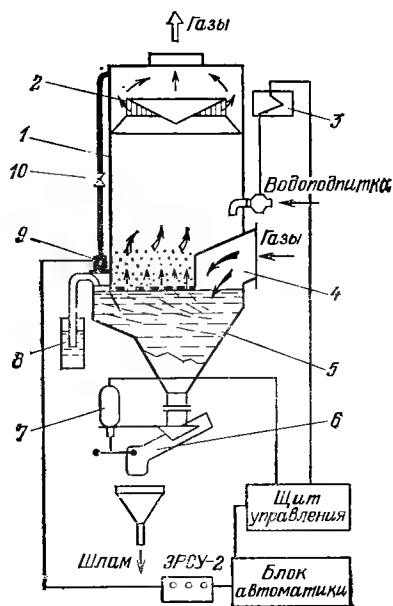


Рис. 5.13. Газопромыватель типа ГДП-М:

1 — корпус; 2 — центробежный каплеуловитель; 3 — реле управления водоподпитки; 4 — патрубок для входа газов; 5 — тарелка; 6 — разгрузочное устройство; 7 — электромагнитный клапан; 8 — гидрозатвор; 9 — регулятор уровня жидкости; 10 — электромагнитный вентиль

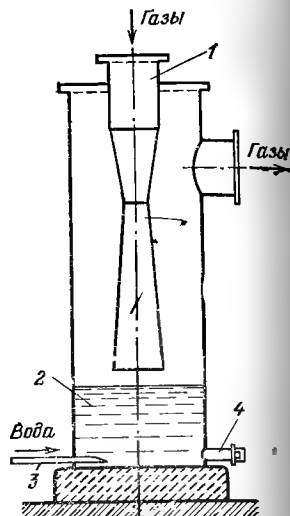


Рис. 5.14. Мокрый пылеуловитель ударно-инерционного действия:

1 — входной патрубок; 2 — резервуар с жидкостью; 3 — смывное сопло; 4 — труба для удаления шлама

ТЕХНИЧЕСКИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ

Показатели	ПВПР-3	ПВПР-4	ПВПР-5	ПВПР-7	ПВПР-9
Производительность по газу, м ³ /ч	2500—3400	3400—4500	4500—6200	6200—7500	7500—10 000
Основные размеры, мм:					
D	600	700	800	900	1000
D_1	500	600	700	700	800
D_2	300	350	400	500	500
H/H^*	3890	4245	4550	5125	5685
	3190	3645	3950	4525	5085
Масса, кг	725	915	1120	1335	1570

* H — высота аппарата с одной тарелкой (без средней секции).

ного воздуха и газов от пыли, не схватывающейся в воде. Это аппарат непрерывного действия с внутренней циркуляцией жидкости и периодической разгрузкой уловленных продуктов в виде шлама или растворов, что позволяет эксплуатировать аппарат с очень низким удельным орошением.

Запыленный газ сначала поступает в подрешеточное пространство, захватывает часть жидкости, а затем, пройдя отверстия решетки (тарелки, в которых скорость газа составляет 10—12 м/с), контактирует со слоем турбулизированной пены. Для обеспечения равномерного распределения газа в свободном сечении решетки ее отверстия выполнены с увеличением диаметра по мере удаления отверстий от входного патрубка.

Очищенный от пыли газ проходит через каплеотделитель и через выходной патрубок отводится в атмосферу. Уловленная пыль в виде шлама осаждается в бункерной части и через разгрузочное устройство периодически выводится из аппарата.

Аппарат обеспечивает высокую эффективность при улавливании частиц пыли >5 мкм.

Разработан типоразмерный ряд газопромывателей типа ГДП-М, технические характеристики которого приведены в табл. 5.4.

Газопромыватели ударного действия. Наиболее простой по конструкции пылеуловитель ударно-инерционного действия представляет собой вертикальную колонну, в нижней части которой находится слой жидкости (рис. 5.14).

Запыленные газы по газоходу (обычно круглого сечения или выполненного в виде трубы Вентури) с большой скоростью направляются на поверхность жидкости. При резком повороте газового потока на 180° происходит инерционное осаждение частиц пыли на каплях жидкости. Шлам из аппарата может удаляться через гидрозатвор периодически или непрерывно. Для удаления уплотненного осадка со дна применяют смывные сопла.

При периодическом отводе шлама постоянная подпитка воды производится только для компенсации ее потерь за счет испарения. Поэтому

ГАЗОПРОМЫВАТЕЛЕЙ ТИПА ПВПР [44]

ТАБЛИЦА 5.3

ПВПР-12	ПВПР-17	ПВПР-22	ПВПР-30	ПВПР-41	ПВПР-55	ПВПР-80
10 000—15 000	15 000—18 700	18 700—24 000	24 000—32 600	32 600—45 700	45 700—64 000	64 000—90 000
1200	1400	1600	1800	2200	2600	3000
1000	1200	1400	1600	1800	2200	2400
600	600	600	800	1000	1200	1200
6835	7380	7855	9330	10 990	12 100	13 520
5835	6380	6855	8330	9790	10 900	12 320
2640	3200	3810	6440	8370	11 340	13 090

ТАБЛИЦА 5.4

ТЕХНИЧЕСКИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ ГАЗОПРОМЫВАТЕЛЕЙ ТИПА ГДП-М

Показатели	ГДП-5М	ГДП-7М	ГДП-10М
Производительность по газу, м ³ /ч	5000	7000	10 000
Максимальная температура газа на входе, °С	—	250	—
Максимальное гидравлическое сопротивление, Па	—	1800	—
Запыленность газов на входе, г/м ³	—	До 30	—
Удельное орошение, л/м ³	—	0,015—0,05	—
Диаметр аппарата, м	1,0	1,25	1,5
Высота аппарата, м	2,9	3,2	3,65
Масса в рабочем состоянии, кг	1000	1560	2200

му аппараты ударно-инерционного действия рекомендуется устанавливать для очистки холодных или предварительно охлажденных газов.

Скруббер Дойля. В аппарате (рис. 5.15) газовый поток поступает через трубы, в нижней части которых установлены конусы, увеличивающие скорость газов в свободном сечении трубы. Скорость газов непосредственно в щели на выходе из трубы составляет 35—55 м/с, и газовый поток с достаточно высокой скоростью ударяется о поверхность жидкости, создавая завесу из капель. Уровень жидкости в скруббере (в статическом состоянии) на 2—3 мм ниже кромки трубы. Гидравлическое сопротивление газопромывателя в зависимости от скорости истечения и h составляет 500—4000 Па.

Ротоклон типа N является другим типичным представителем газопромывателей ударно-инерционного действия (рис. 5.16). В аппарате установлены один или несколько изогнутых щелевых каналов, нижняя часть которых затоплена жидкостью. Газовый поток, ударяясь о поверхность жидкости, захватывает часть жидкости и заставляет ее двигаться вдоль нижней направляющей канала. Затем жидкость отбрасывается к верхней направляющей и при выходе из щели падает в виде сплошной водяной завесы. Для предотвращения уноса капель газы после канала проходят через систему каплеотбойных устройств. Скорость газов в канале обычно не превышает 15 м/с.

Разработано несколько конструкций ротоклонов [42].

Производительность ротоклона конструкции Гипротязмаша 10—40 тыс. м³/ч. Температура подаваемых на очистку газов — до 280 °С. Максимальная потеря давления в ротоклоне, соответствующая максимальной скорости воздуха 25 м/с, 1900 Па, расход воды — до 0,5 м³/ч, максимальный объем заливаемой воды 6,5 м³. Слипшийся на дне шлам удаляют скребковым транспортером в короб или непосредственно в шламоотвод.

Ротоклон «Урал» (рис. 5.17) применяется при очистке газов, отсасываемых от мельниц, дробилок, сушил, сталеплавильных печей, углеобогащительных машин, котлоагрегатов, травильных и цинковальных ванн и др. Расход газа 10—15 тыс. м³/ч при потере давления 1,6 кПа, если частицы пыли имеют размер >5 мкм, 35 тыс. м³/ч — при потере

давления 3—15 кПа, если производят тонкую очистку мелкодисперсной пыли. Расход воды изменяется в пределах 0,001—30 л/м³. Эффективность очистки газа, например, от угольной пыли с фракционным составом 0—5 мкм (60 % массы), 5—10 мкм (10 %) достигает 99,7 %, причем начальная запыленность составляет 6—11,3 г/м³. Начальную запыленность рекомендуется принимать до 100 г/м³. Расход газов, потерю давления, скорости газов между перегородками (в пределах 30—200 м/с) и, следовательно, эффективность улавливания аэрозолей регулируют при помощи подвижных перегородок. При эффективном улавливании пыли размером до 1 мкм (газы от электродуговой) потеря давления должна быть не менее 5 кПа. Температура газов допускается 400 °С [41].

Аппарат ПВМ (пылеуловитель вентиляторный мокрый) имеет две модификации: с удалением шлама посредством слива (СА) и с

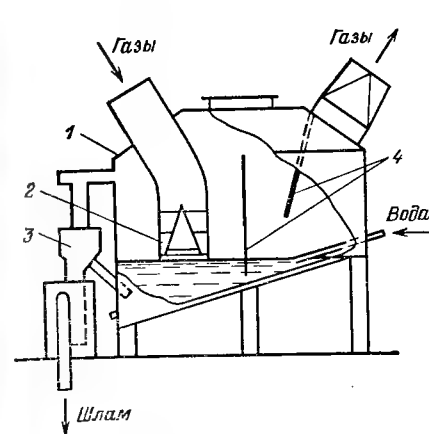


Рис. 5.15. Скруббер Дойля:

1 — корпус; 2 — сопло-ускоритель; 3 — сливное устройство; 4 — брызгоотбойник

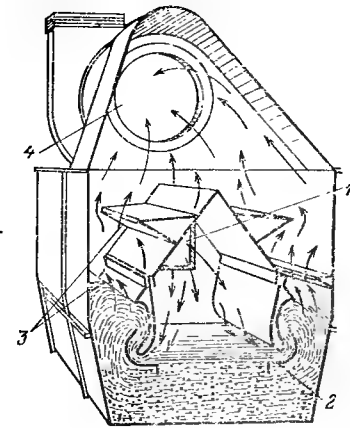


Рис. 5.16. Ротоклон:

1 — устройство для подвода газов; 2 — направляющие лопасти; 3 — каплеотбойник; 4 — устройство для вывода газов

уборкой его скребковым агрегатом (КА). Кроме того, ПВМ изготавливают в двух исполнениях: с удалением шлама с поверхности воды (П) и с повышенной безопасностью (Б) [102].

Аппарат работает по следующей схеме (рис. 5.18). Запыленные газы поступают через отверстие в боковой стенке. При включении вентилятора уровень воды в среднем отсеке пылеуловителя между двумя симметричными перегородками 2 устанавливается ниже, чем за перегородками 3. В результате между поверхностью воды и каждой перегородкой 2 образуется щель, через которую газовый поток устремляется с большой скоростью в виде плоской струи, частично увлекая за собой воду. Встречая на своем пути перегородку 3, струя отклоняется вверх, причем на поверхность перегородки, смоченную увлеченной водой, осаждаются сепарирующиеся из струи частицы пыли. Вода, увлеченная газовым потоком, перетекает вверх по перегородке 3, отклоняется водоотбойником и сливается в крайний отсек. Газы проходят через каплеуловитель и выбрасываются наружу вентилятором.

Для предупреждения закупорки сливного отверстия шламом в нижнюю часть корпуса по соплам, расположенным внутри бункера, через коллектор подается водопроводная или осветленная вода. Аппарат оборудован также устройством для автоматической водоподпитки и поддержания уровня воды в ванне.

Расход воды ПВМС 20 г на 1 т уловленной пыли, а ПВМК 5—10 г/т. Потерю давления в ПВМ и эффективность улавливания пыли определяют по графикам (рис. 5.19) в зависимости от удельного расхода воздуха и расстояния от кромки перегородки до уровня воды.

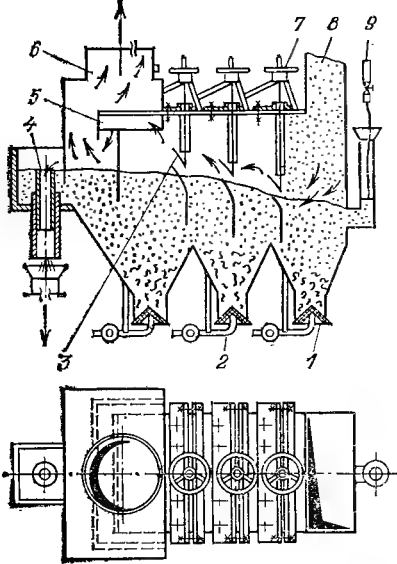


Рис. 5.17. Ротоклон «Урал»:
1 — конусный затвор для удаления шлама; 2 — нижняя неподвижная перегородка; 3 — верхняя подвижная перегородка; 4 — подвижный регулятор уровня жидкости; 5 — боковое газовое окно лабиринтного каплеуловителя; 6 — выход очищенного газа; 7 — винтовой подъемник; 8 — выход загрязненного газа; 9 — подача воды

Сантехпроекта [103] в соответствии с заданным расходом газопылевого потока и допустимым газодинамическим сопротивлением. Основные характеристики циклонов ЦВП приведены в табл. 5.6.

Диаметр аппарата в зависимости от допустимого аэродинамического сопротивления и требуемого расхода воздуха подбирается по номограммам, приведенным на рис. 5.22, а, б.

Для расчета эффективности аппарата необходимо по графику, представленному на рис. 5.22, в, определить d_{50} , а затем произвести вычисления по формуле (1.28) при $lg \sigma_{\eta} = 0,838$.

При содержании пыли, превышающем 2 г/м³, до циклона с водяной пленкой рекомендуется устанавливать первую ступень очистки в виде сухого циклона или другого инерционного пылеуловителя. Рабо-

Основные технические характеристики пылеуловителей ПВМ приведены в табл. 5.5.

Скрубберные газопромыватели центробежного действия по своей конструкции делятся на 2 типа: в первом вращательное движение пылегазовому потоку дается за счет тангенциального подвода потока, а во втором закручивателем служит центральное лопастное устройство (рис. 5.20).

В СССР наибольшее распространение получили центробежные скрубберы с тангенциальным подводом газопылевого потока и пленочным орошением, создаваемым форсунками.

Циклон с водяной пленкой (ЦВП) является типичным представителем этого типа пылеуловителей и предназначен для очистки запыленного вентиляционного воздуха от любых видов нецементирующей пыли. По внутренней поверхности стенки циклона непрерывно стекает пленка воды, которая тангенциально вводится в аппарат через ряд трубок, расположенных в его верхней части (рис. 5.21).

Выбор аппарата производится по Методическим рекомендациям

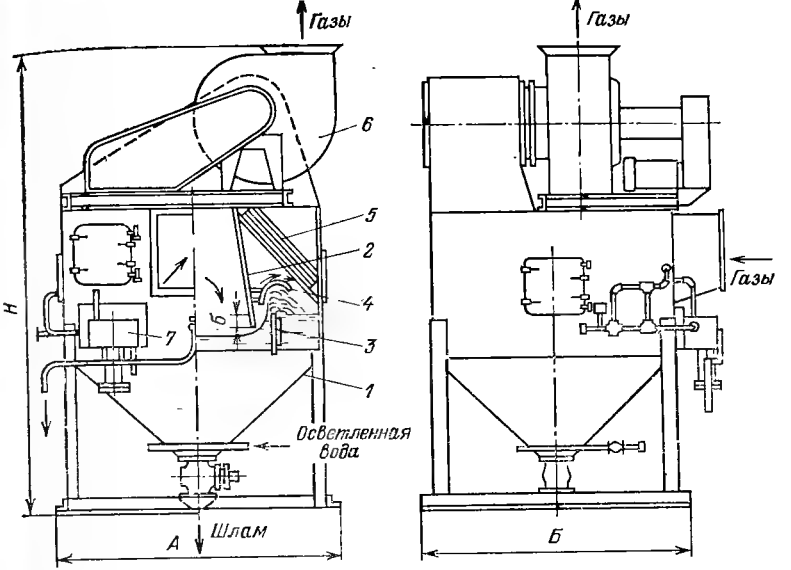


Рис. 5.18. Газопромыватель типа ПВМ:
1 — корпус; 2, 3 — перегородки; 4 — водоотбойник; 5 — каплеуловитель; 6 — вентилятор; 7 — регулятор уровня жидкости

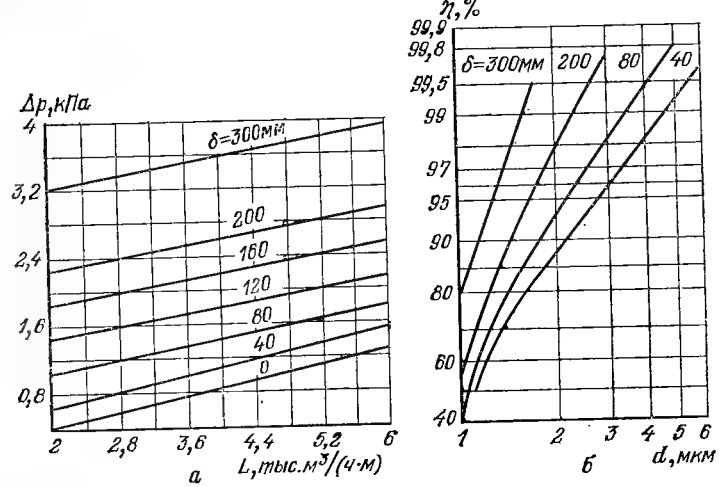


Рис. 5.19. Графики для определения потери давления (а) и эффективности улавливания пыли (б) пылеуловителя ПВМ [44]

чие чертежи циклона ЦВП разработаны институтом «Проектпромвентилиация».

Газопромыватель конструкции СИОТа (рис. 5.23) применяют для обеспыливания аспирационного воздуха (смачиваемой пыли) при вход-

ОСНОВНЫЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ АППАРАТА ПВМ [44]

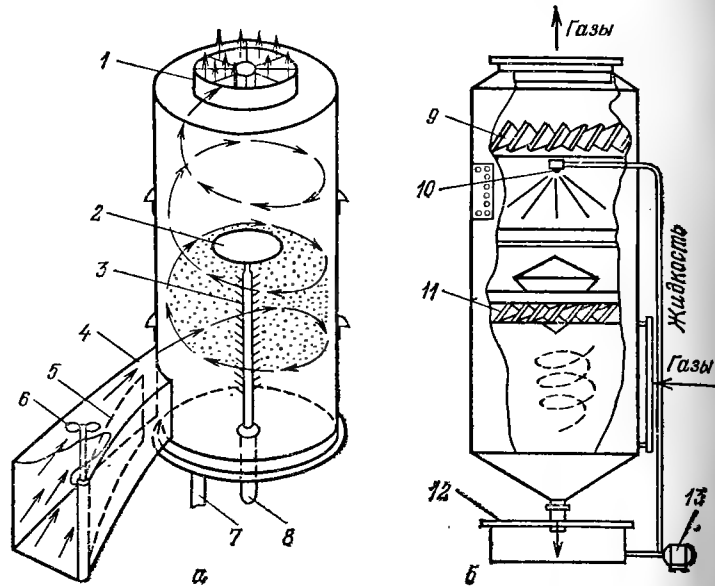


Рис. 5.20. Центробежные скрубберы с центральным подводом орошения (а) и внутренними завихрителями (б):

1 — лопатки для выравнивания потока; 2 — центральный диск; 3 — система орошения; 4 — устройство для ввода газов; 5 — вращающаяся заслонка на входе; 6 — шток; 7 — выходное отверстие для шлама; 8 — входное отверстие для орошающей жидкости; 9 — раскручиватель для выравнивания потока; 10 — ороситель; 11 — завихритель; 12 — сосуд для сбора жидкости; 13 — насос

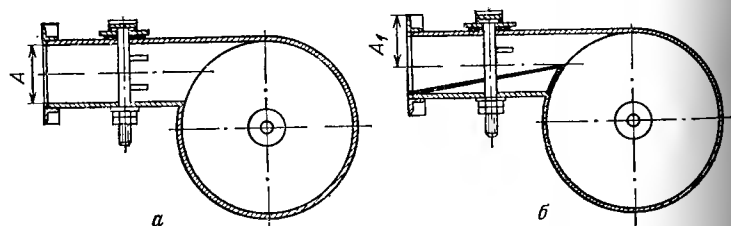


Рис. 5.21. Циклон с водяной пленкой ЦВП:

а — базовая конструкция; б — вариант с повышенной скоростью воздуха на входе в циклон

ной концентрации до 5 г/м³. Технические характеристики ряда газопромывателей конструкции СИОТа приведены в табл. 5.7.

Рекомендуемые скорости воздуха в круглом сечении входного патрубка аппарата находятся в пределах 14—20 м/с. На рис. 5.24 сплошной линией показана область рекомендуемой работы газопромывателей, пунктирной — область допустимой. Гидравлическое сопротивление

Пылеуловитель		Производительность, тыс. м³/ч	Длина пылеулавляющих перегородок, м	Объем воды в бункере, м³	Вентиляционный агрегат		Масса без вентиляционного агрегата, т	Габариты, мм		
марка	исполнение				тип	номер		ширина	длина	высота
ПВМЗ	СА	3	0,8	0,45	Ц14-46	2,5	0,55	1145	1315	3185
	СА			1,2			0,67	1590	1355	3475
ПВМ5	КА	5	1,21	2	В-ЦП7-40	5	1,36	2900	1355	3475
	Б СА			1,2			0,95	1140	1124	3475
ПВМ10	КА	10	2	1,45	В-ЦП7-40	6	1,23	2388	1500	4005
	П Б			2,3			2,2	3770	1500	4005
ПВМ20	КА	20	4	2,3	В-ЦП6-45	8	1,5	2365	1900	4005
	П Б СА			2,2			1,6	2365	1900	4005
ПВМ40	КА	40	8	2,2	Ц4-76	10	1,65	2350	2290	4330
	П Б			3			2,8	3770	2290	4330
	КА			2,2			2,35	2217	2810	4330
	П Б			2,2			2,42	2300	2810	4330
	КА			5,5			3,55	4383	2314	4940
	П Б			5,8			4,15	5770	2314	4940
	КА			5,5			3,4	4320	2900	4950
	П Б			9,5			3,5	4520	2900	4950

Δр газопромывателя конструкции СИОТа, ПА, может быть рассчитано по эмпирической формуле

$$\Delta p = 147w_T - 980, \quad (5.5)$$

ТАБЛИЦА 5.6

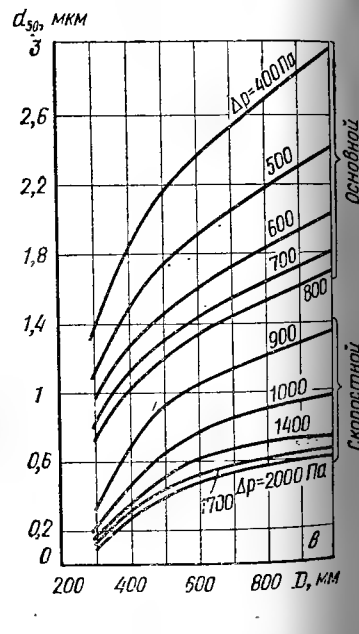
ХАРАКТЕРИСТИКИ ЦИКЛОНОВ С ВОДЯНОЙ ПЛЕНКОЙ ЦВП

Обозначение циклона	Основные размеры, мм					Расход воды на орошение стенок циклона, л/с	Расход воды на периодическое орошение стенок входного патрубка, л/с	Масса, кг
	D	H	l ₁	l ₂	A×B			
ЦВП-3	315	2434	283	445	110×195	0,14	1,1	63,9
ЦВП-4	400	3014	360	505	140×250	0,17	1,2	106,7
ЦВП-5	500	3684	450	640	175×310	0,21	1,4	161,0
ЦВП-6	530	4554	565	765	220×390	0,27	1,6	237,0
ЦВП-8	800	5699	720	1025	280×495	0,35	2,0	369,7
ЦВП-10	1000	7044	900	1335	350×620	0,43	2,4	569,5

ТАБЛИЦА 5.7
ТЕХНИЧЕСКАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА ГАЗОПРОМЫВАТЕЛЕЙ КОНСТРУКЦИИ СИОТа

Показатели	Номер пылеуловителя								
	5	6	7	8	9	10	11	12	13
Производительность, тыс. м ³ /ч, при входной скорости, м/с:									
14	12,5	17,5	25	35	50	75	100	140	200
20	17,5	25	35	50	75	100	140	200	280
Диаметр входного патрубка, мм	560	665	790	940	1120	1330	1580	1880	2240
Внутренний диаметр аппарата, мм	1344	1596	1896	2256	2688	3192	3792	4512	5400
Расход воды (максимальный), м ³ /ч	2,0	2,8	3,9	5,5	7,7	11,0	15,5	22	31

Рис. 5.22. Номограммы для определения гидравлического сопротивления аппаратов ЦВП (а и б) и график зависимости диаметра частиц, улавливаемых на 50 %, от диаметра корпуса циклона ЦВП (в)



5.4. СКРУББЕРЫ ВЕНТУРИ

Скрубберы Вентури являются эффективными аппаратами мокрого пылеулавливания. Общей конструктивной особенностью этих аппаратов является наличие трубы-распылителя, в которой происходит процесс дробления движущимся со скоростью до 150 м/с пылегазовым потоком орошающей жидкости, и установленного за ней каплеуловителя.

Разработан большой ряд конструкций скрубберов Вентури (рис. 5.25) [105].

Скрубберы Вентури с центральным (форсуночным) орошением (см. рис. 5.25, а). В скрубберах подобного типа подача орошающей жидкости осуществляется форсунками, установленными перед конфузуром или непосредственно в нем. Давление перед форсункой обычно составляет от 0,2 до 0,3 МПа. В основном применяются центробежные (механические эвольвентные, цельнофакельные и др.) форсунки.

При угле α_f максимально возможное расстояние от форсунки до верхней кромки конфузора

$$l_f \text{ составляет: } \frac{d_f}{2} \operatorname{ctg} \frac{\alpha_f}{2}.$$

Скрубберы Вентури с периферийным орошением (см. рис. 5.25, б). Периферийная подача

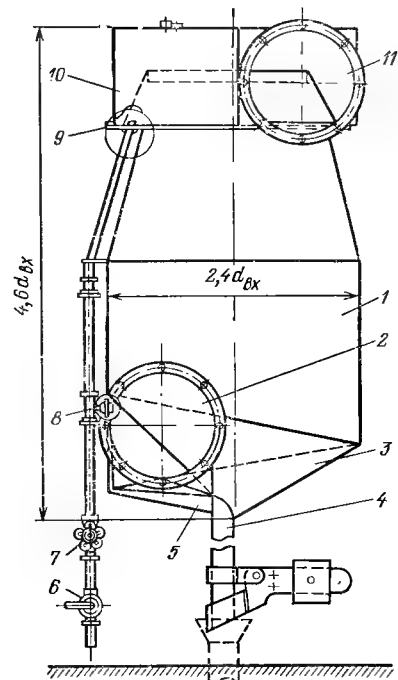


Рис. 5.23. Скоростной промыватель конструкции СИОТа:

1 — корпус; 2 — патрубок для подвода газов; 3 — коническое днище; 4 — сливной патрубок; 5 — Г-образная пластина, образующая уступ снизу и сверху; 6 — пробковый кран; 7 — регулировочный вентиль; 8 — нижнее сопло; 9 — верхнее сопло; 10 — спиральный раскручиватель; 11 — патрубок для отвода газов

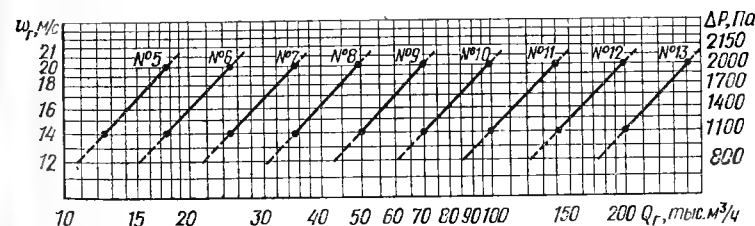


Рис. 5.24. Номограмма для определения скорости воздуха и гидравлического сопротивления скоростных промывателей СИОТа [44]

где w_r — скорость воздуха в круглом сечении входного патрубка, м/с. Центробежный скруббер ЦС-ВТИ предназначен для очистки дымовых газов от золы за котлами паропроизводительностью менее 100 т/ч. Однако из-за низкой эффективности эти аппараты практически не используются в промышленности [104].

орошающей жидкости используется при орошении через конфузор или горловину.

Скрубберы Вентури с пленочным орошением (см. рис. 5.25, в). Для предотвращения образования отложений на стенках конфузора и диф-

фузора при орошении трубы сильно загрязненной оборотной жидкостью предложена пленочная подача жидкости. Такая подача может применяться как совместно с подачей через форсунки или периферийной, так и самостоятельно, главным образом в щелевых трубах-распылителях.

Для обеспечения лучшего контакта газов с жидкостью по периметру горловины трубы с пленочным орошением рекомендуется предусма-

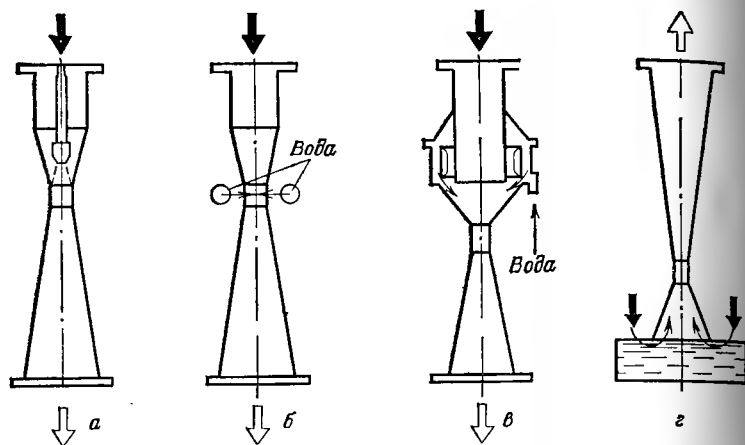


Рис. 5.25. Конструкция труб-распылителей:

а — центральный (форсуночный) подвод орошения; б — периферийное орошение; в — пленочное орошение; г — бесфорсуночное орошение

ривать уступ. Для труб-распылителей с пленочным орошением большое значение имеет диаметр или ширина горловины. Размер максимально возможного диаметра или ширины горловины зависит от скорости газов, однако не рекомендуется принимать его больше 100 мм.

Скрубберы Вентури с подводом жидкости за счет энергии газового потока (см. рис. 5.25, г) еще называют бесфорсуночными скрубберами Вентури. Они применяются в качестве абсорберов, но могут использоваться и для пылеулавливания, особенно при орошении оборотной жидкостью с большим количеством взвеси.

Газы, подаваемые на очистку, контактируют с поверхностью жидкости, находящейся в приемной чаше или другой емкости, захватывают и увлекают жидкость за собой в виде брызг и капель в трубу-распылитель.

Гидравлическое сопротивление аппарата увеличивается с возрастанием удельного орошения, которое может быть обеспечено за счет повышения как скорости газа (при постоянном уровне жидкости), так и уровня жидкости (при постоянной скорости газа). Так, при скорости газов в горловине трубы-распылителя 50—60 м/с увеличение удельного орошения с 0,8 до 3,3 л/м³ приводит к росту гидравлического сопротивления аппарата с 700 до 3000 Па. Гидравлическое сопротивление бесфорсуночной трубы-распылителя ниже, чем трубы-распылителя с форсуночным или периферийным орошением при одних и тех же значениях удельного расхода орошающей жидкости и скорости газов в

горловине. Это объясняется худшим дроблением капель в этом аппарате, что приводит в свою очередь к более низкой его пылеулавливающей способности.

В зависимости от поставленной задачи основные элементы аппарата (труба-распылитель и каплеуловитель) компонуются раздельно или в едином корпусе (рис. 5.26 и 5.27).

Высоконапорные трубы Вентури (табл. 5.8) предназначены для обеспыливания газов с температурой до 400 °С и концентрацией пыли до 30 г/м³; допустимое содержание взвеси в оборотной воде 0,5 г/л.

Унифицированный ряд скрубберов Вентури с кольцевым сечением горловины (табл. 5.9) имеет такие же технические требования по концентрации пыли и содержанию взвеси в орошающей жидкости, как высоконапорные аппараты.

Есть две модификации скрубберов Вентури. Первая модификация рассчитана на производительность по газам от 2000 до 50000 м³/ч и включает четыре типоразмера. В аппаратах этой модификации предусмотрена регулировка сечения горловины с помощью конического обтекателя с углом раскрытия 7°. Труба-распылитель устанавливается внутри центробежного каплеуловителя (на диффузоре трубы закреплена центробежная розетка).

В трубах-распылителях с коническим обтекателем максимальное сече-

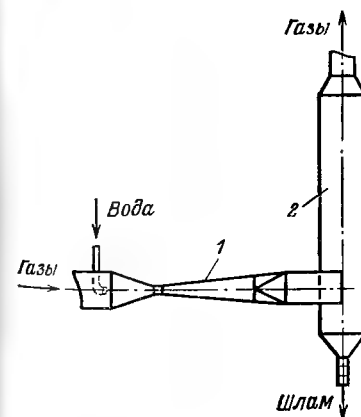


Рис. 5.26. Скруббер Вентури с выносным каплеуловителем:

1 — труба-распылитель; 2 — циклон-каплеуловитель

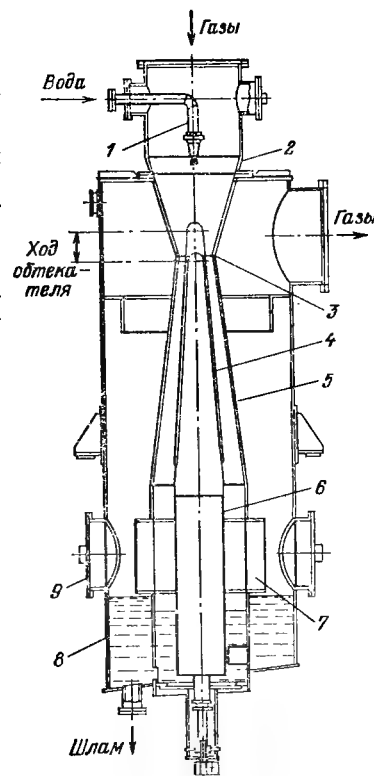


Рис. 5.27. Скруббер Вентури с регулируемым сечением кольцевой горловины [44]:

1 — форсунка; 2 — конфузор; 3 — горловина; 4 — регулирующий конус; 5 — диффузор; 6 — направляющий шток; 7 — центробежный завихритель; 8 — корпус каплеуловителя; 9 — люк

ТЕХНИЧЕСКИЕ ПОКАЗАТЕЛИ ТИПОРАЗМЕРНОГО РЯДА ТРУБ ВЕНТУРИ

Марка	Производительность (условия выхода), м³/ч	Диаметр горловины, мм	Расход орошающей жидкости, м³/ч	Давление жидкости перед форсункой, кПа
ГВПВ-0,010-400	3100—6500	115	2,16—5,00	80—410
ГВПВ-0,014-400	4140—8400	135	2,90—5,00	63—400
ГВПВ-0,019-400	5590—11 340	155	3,90—12,80	80—410
ГВПВ-0,025-400	7490—15 120	180	5,20—13,00	60—700
ГВПВ-0,30-400	9320—18 900	200	13,00—30,00	80—980
ГВПВ-0,045-400	13 800—28 000	240	6,50—13,00	420—710
ГВПВ-0,060-400	18 630—37 800	280	13,00—30,00	150—980
ГВПВ-0,080-400	23 460—47 600	320	30,00—56,00	80—450
ГВПВ-0,100-400	32 430—65 800	370	13,00—30,00	60—250
ГВПВ-0,140-400	41 400—84 000	420	30,00—75,60	100—910
			45,00—95,20	110—390
			22,60—45,00	100—570
			45,00—131,60	110—710
			28,80—45,00	75—570
			45,00—168,00	110—500
				80—320
				63—540
				130—320
				63—880

ние горловины — при нижнем положении обтекателя, когда горизонтальная ось головки его совпадает с нижней кромкой горловины трубы. Подача орошающей жидкости производится в конфузор трубы Вентури через форсунку с рассекающим конусом, установленную на уровне верхней кромки конфузора по оси трубы-распылителя.

Требуемый уровень гидравлического сопротивления обеспечивается за счет изменения значений удельного орошения от 0,5 до 3,5 л/м³ и скоростей газов в горловине трубы. Регулировочная характеристика скруббера Вентури с коническим обтекателем приведена на рис. 5.28, а и в табл. 5.9.

Вторая модификация скрубберов Вентури рассчитана на производительность по газам от 50000 до 500000 м³/ч. Для регулирования сечения горловины установлен эллиптический (плоский) обтекатель. Скруббер Вентури комплектуется из трубы-распылителя с регулируемым сечением горловины и отдельно стоящих (двух или одного) каплеуловителей.

В аппаратах второй модификации гидравлическое сопротивление (от 400 до 1200 Па) также обеспечивается регулировкой скорости газа в кольцевом сечении горловины и величиной удельного орошения. Регулировочная характеристика скрубберов Вентури с эллиптическим обтекателем приведена на рис. 5.28, б. Минимальное сечение горловины — при верхнем положении обтекателя. Подача орошающей жидкости в конфузор трубы-распылителя производится с помощью эвольвент-

ТАБЛИЦА 5.8
ВЫСОКОНАПОРНЫХ
ТУРИ [44]

Габаритные размеры, мм	Масса изделия, кг, не более
540×610×2500	117,0
540×685×2500	120,0
575×700×2940	148,0
575×740×2940	150,0
645×785×3140	174,0
645×795×3140	175,0
775×925×3790	244,0
775×985×3790	257,0
790×1325×4025	305,0
790×1355×4025	310,0
880×1420×4620	400,0
	420,0
1075×1630×5420	535,0
	560,0
1545×1480×5940	645,0
	675,0
1835×1835×7240	935,0
1860×1860×7240	975,0
2015×2015×8140	1160,0
2060×2060×8140	1200,0

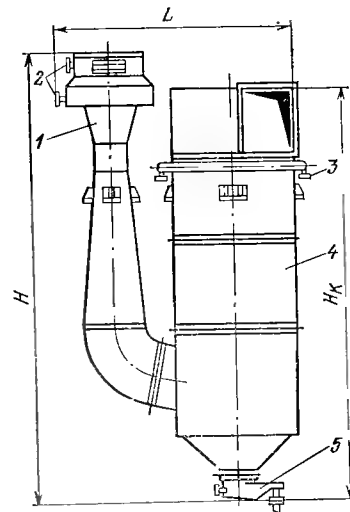


Рис. 5.29. Газопромыватель типа КМА [41]:

1 — труба-распылитель; 2 — подвод воды; 3 — подвод воды в каплеуловитель; 4 — циклон-каплеуловитель; 5 — гидрозатвор для отвода шлама

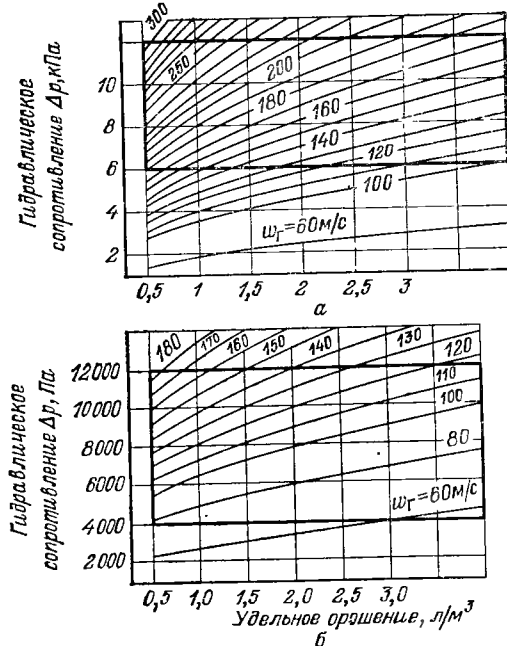


Рис. 5.28. Регулировочная характеристика скруббера Вентури:

а — с коническим обтекателем; б — с эллиптическим обтекателем

ТЕХНИЧЕСКАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА СКРУББЕРОВ ВЕНТУРИ С КОЛЬЦЕВОЙ

Показатели	СВ150/90-800	СВ210/120-1200	СВ300/180-1600	СВ400/250-2200	СВ500/320-1600	СВ1020/920-2000
Производительность, тыс. м ³ /ч:						
максимальная	7	15	30	50	80	120
минимальная	2	7	15	30	50	80
Высота скруббера Н, мм . . .	4095	4980	6205	7400	9160	11060
Размеры трубы-распылителя, мм:						
диаметр горловины	150	210	300	400	900	1020
диаметр обтекателя	90	120	180	250	820	920
ход обтекателя	250	250	350	350	150	185
Число каплеуловителей, шт . .	1	1	1	1	1	1
Диаметр каплеуловителя, мм .	800	1200	1600	2200	1600	2000
Скорость газов в свободном сечении каплеуловителя, м/с:						
максимальная	5,0	5,0	5,0	5,0	11,0	10,6
минимальная	1,4	2,3	2,5	3,0	6,9	7,1
Масса, т	1,14	1,90	3,70	6,63	8,06	10,73

ных форсунок, равномерно распределенных по периметру конфузора, с цилиндрической насадкой.

Газопромыватель типа КМП (рис. 5.29) представляет собой скруббер Вентури, предназначенный в основном для очистки вентиляционных выбросов с начальной запыленностью воздуха до 30 г/м³. Он состоит из двух основных частей: трубы-распылителя и циклона-каплеуловителя типа ЦВП (с периодическим орошением). Подача воды, в тру-

ОСНОВНЫЕ ТЕХНИЧЕСКИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ АППАРАТОВ

Показатели	КМП-2,5	КМП-3,2	КМП-4,0	КМП-5,0
Производительность, м ³ /ч . .	7000—14000	12000—20000	18000—35000	28000—55000
Диаметр горловины, мм . . .	250	320	400	500
Габаритные размеры, мм:				
длина L	2300	2800	3540	3980
ширина В	1415	1845	2240	2705
высота Н	3350	4990	5630	7645
Масса, т	1,060	1,260	1,848	4,010

ТАБЛИЦА 5.9
ГОРЛОВИНОЙ [44]

СВ1150/1020-2400	СВ1380/1220-2000	СВ1620/1420-2400	СВ1860/1620-2800
180 120 13165	240 160 11060	340 240 13165	500 340 14880
1150 1020 212 1	1380 1220 245 2	1620 1420 350 2	1860 1620 400 2
2400	2000	2400	2800
11,0 7,4 14,17	10,6 7,1 19,96	10,4 7,4 27,00	11,3 7,7 34,47

бу-распылитель осуществляется через сопло с отбойником, устанавливаемое по оси трубы в зоне конфузора.

Для предотвращения образования отложений на границе раздела сухой и мокрой поверхностей корпуса предусмотрена дополнительная подача воды — в виде пленки, равномерно стекающей из камеры над конфузуром. На орошение аппарата обычно подается оборотная вода с содержанием твердого до 0,5 г/л [103].

Типоразмерный ряд газопромывателей КМП включает аппараты производительностью от 7000 до 140000 м³/ч (табл. 5.10).

Расчет эффективности газопромывателей по ряду пылей приведен в [103].

Мокрые скоростные золоуловители МС-ВТИ разработаны для замены ранее применявшихся мокрых золоуловителей МП-ВТИ. Газопромыватели МС-ВТИ предназначены для очистки газов на энергоблоках мощностью до 200 МВт.

Методы расчета и подбора этих аппаратов изложены в [104]. Отметим, что в последнее время газопромыватели МС-ВТИ находят ограниченное применение.

5.5. КАПЛЕУЛОВИТЕЛИ

Особенности компоновочных решений, технологических и эксплуатационных требований установок с трубами Вентури обуславливали использование различных конструкций каплеуловителей. Выбор конструкции каплеуловителя в основном зависит от размера улавливаемых капель. Чем выше скорость газа в горловине, тем интенсивнее осуществляется процесс дробления и тем меньше размер выносимых из трубы Вентури капель. Так, при скорости газов в горловине трубы 120 м/с образуются капли среднего размера ~50 мкм [105].

ТАБЛИЦА 5.10
ТИПА КМП [44]

КМП-6,3	КМП-7,1	КМП-8,0
45000—86000 630	58000—110000 710	70000—140000 800
4480 3190 8360 5,310	5240 3695 9290 7,308	5720 4105 10060 10,477

В качестве каплеуловителя в скруббере Вентури могут применяться сепараторы различных конструкций, однако наибольшее распространение получили циклоны, коленные сепараторы, разделительные емкости, сепараторы с за-

кручивающими элементами. Реже в качестве уловителей за трубами Вентури используются пенные аппараты, полые и насадочные скрубберы, электрофилтры.

При больших удельных расходах орошающей жидкости, а также при очистке в скрубберах Вентури переменных объемов газов применяют двухступенчатую сепарацию влаги: грубую и тонкую. В качестве первой ступени для улавливания основного количества жидкости обычно используют разделительные емкости и коленные сепараторы [106] (рис. 5.30), а в качестве второй ступени для доулавливания капельной влаги — циклонные сепараторы (рис. 5.31). Это обеспечивает высокую эффективность улавливания капель и осевших на них частиц пыли во всем диапазоне изменения производительности по газу. При выборе в

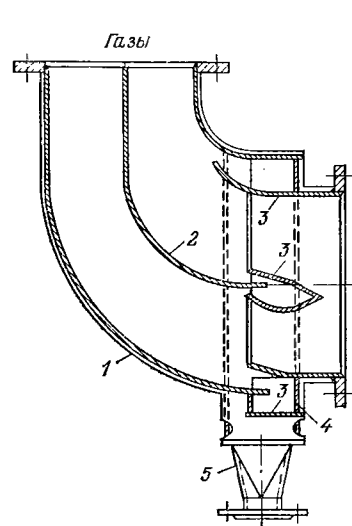


Рис. 5.30. Коленный сепаратор:

1 — корпус; 2 — лопатка; 3 — сливные карманы; 4 — труба для сбора уловленной жидкости; 5 — устройство для вывода жидкости

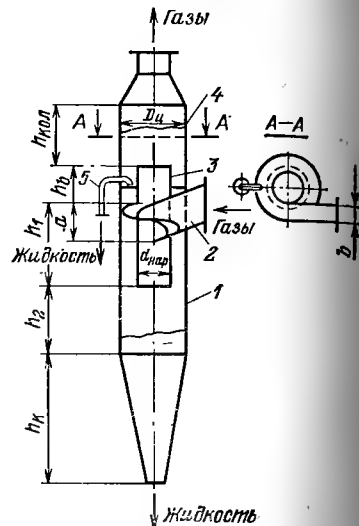


Рис. 5.31. Циклон ЦН-24 с разрывом в выхлопной трубе:

1 — корпус; 2 — устройство для ввода газов; 3 — выхлопная труба; 4 — верхняя камера циклона; 5 — устройство для отвода жидкости из верхней камеры циклона

расчете циклонного сепаратора рекомендуется принимать следующие параметрические соотношения (для циклона типа ЦН-24 с разрывом в выхлопной трубе) в долях от диаметра $D_{\text{ц}}$: $a=1,11 D_{\text{ц}}$; $h_1=1,7 D_{\text{ц}}$; $h_{\text{кол}}=1,2 D$; $h_{\text{в}}=0,8 D_{\text{ц}}$; $d_{\text{вар}}=0,6 D_{\text{ц}}$; $h_{\text{к}}=2D_{\text{ц}}$; $h_2=0,6 D_{\text{ц}}$. Диаметр сливного отверстия принимается не менее $0,15 D_{\text{ц}}$.

Для высокоэффективного улавливания капель используют циклоны (реже пенные аппараты). Характеристики сепараторов, устанавливаемых за трубами Вентури, приведены в табл. 5.11.

В качестве каплеуловителя за трубами Вентури применяют также встроенные центробежные сепараторы, выполненные в виде лопастного завихрителя. Они могут работать при скоростях газового потока до 15 м/с, обеспечивая улавливание капель крупнее 10 мкм на 99 % [105].

Сепаратор, выполненный в виде цилиндрической или конической

ТАБЛИЦА 5.11
ХАРАКТЕРИСТИКИ СЕПАРАТОРОВ, УСТАНАВЛИВАЕМЫХ ЗА ТРУБАМИ ВЕНТУРИ

Тип сепаратора	Скорость газа в сечении w , м/с	Гидравлическое сопротивление Δp , Па	Предельное содержание жидкости в газе на входе, л/м³	Размеры улавливаемых капель, мкм	Эффективность улавливания η , % при диаметре капель $d_{\text{к}}$, мкм
Разделительная емкость	0,3—2,5	50—250	Не ограничивается	>100	$d_{\text{к}}=100$, $\eta=99$
Циклон	2,5—6,0	200—1500	<1,0	>20	$d_{\text{к}}=20$, $\eta=99$
Прямоточный циклон с розеткой	3,0—15,0	25—500	<1,0	>10	$d_{\text{к}}=11$, $\eta=99$
Коленный сепаратор	12—18	100—600	<2,0	>40	$d_{\text{к}}=40$, $\eta=98$
Центробежная лопатка (применяется для пылей, не склонных к образованию отложений)	10,0	300—400	<2,0	>200	$d_{\text{к}}=200$, $\eta=99,9$

центробежной ловушки (рис. 5.32 и 5.33), устанавливается в качестве каплеуловителя за трубой Вентури с регулируемым сечением горловины и за бездиффузорной трубой Вентури [106, 107].

Для расчета и выбора конических и цилиндрических завихрителей (для сепараторов, приведенных на рис. 5.32 и 5.33) рекомендуется использовать соотношения:

Геометрические размеры	Цилиндрический завихритель	Конический завихритель
h/d_1	0,7	6,0
d_2/D_c	0,6	0,85
d_1/D_c	0,5	0,20
d_2/d_1	1,25	4,25
H_c/D_c	<1,5	2,00
β_1	50°	34°
β_2	0°	10°
Число лопаток	<18	18

Отвод жидкости, уловленной центробежной ловушкой, осуществляется через сливные патрубки, расположенные в нижней части сепаратора тангенциально и навстречу вращающемуся потоку жидкости. При скорости истечения жидкости в сливных патрубках ~0,2 м/с обеспечивается полный отвод уловленной в сепараторе жидкости. Оптимальное расстояние между горловиной трубы Вентури и центробежной ловушкой составляет (0,5—1,0) d_1 .

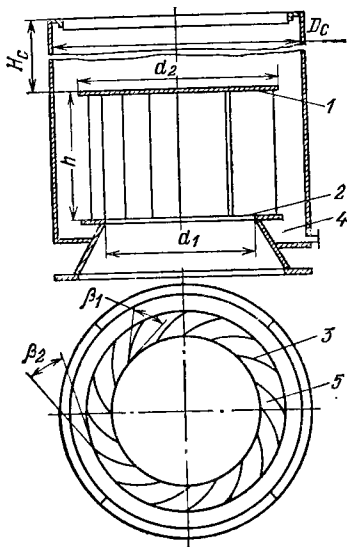


Рис. 5.32. Центробежный каплеуловитель с цилиндрическим завихрителем:

1 — диск; 2 — кольцо; 3 — лопатки; 4 — карман; 5 — канал

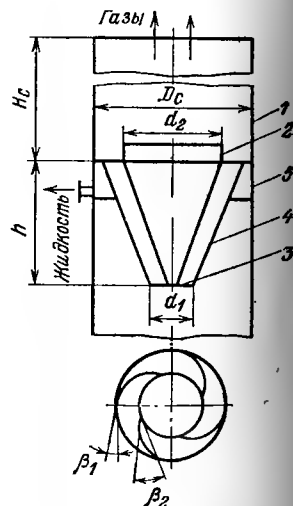


Рис. 5.33. Центробежный каплеуловитель с коническим завихрителем:

1 — корпус; 2 — кольцо; 3 — диск; 4 — лопатки; 5 — карман

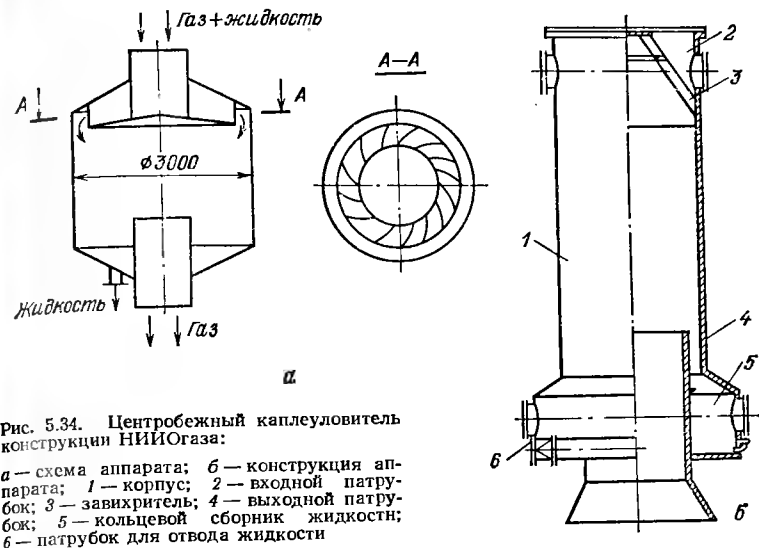


Рис. 5.34. Центробежный каплеуловитель конструкции НИИОгаза:

а — схема аппарата; б — конструкция аппарата; 1 — корпус; 2 — входной патрубок; 3 — завихритель; 4 — выходной патрубок; 5 — кольцевой сборник жидкости; 6 — патрубок для отвода жидкости

Прямоточные центробежные каплеуловители с коническим завихрителем имеют склонность к забиванию межлопастных каналов вследствие сужения их у вершины завихрителя, что не позволяет их широко применять для улавливания капель суспензий или растворов, склонных к кристаллизации.

В центробежном прямоточном каплеуловителе с коническим завихрителем конструкции НИИОгаза [105] проблема забивания межлопастных каналов решена путем разделения аппарата по высоте на несколько секций с уменьшением числа лопаток к вершине. Аппарат испытан в производстве аммофоса (рис. 5.34).

5.6. ЭКСПЛУАТАЦИЯ МОКРЫХ ПЫЛЕУЛОВИТЕЛЕЙ

Системы пылеулавливания следует рассматривать как составную часть технологической схемы. Остановки, поломки и плохая работа газоочистного аппарата в конечном счете вызывают значительное увеличение загрязнения атмосферы, а поэтому должны рассматриваться как аварийное состояние технологического цикла.

Брызгоунос из аппаратов при отклонениях от расчетного режима работы или вследствие неисправностей вызывает зарастание отводящих газоходов мокрыми отложениями и увеличивает их гидравлическое сопротивление. Отложения на лопатках дымососов приводят к разбалашивке тягодутьевых машин. Коррозия газоходов, вызываемая брызгоуносом, приводит к значительным подсосам воздуха, а выщелачивание бетона — к разрушению футеровки аппаратов и износу дымовых труб. Одновременно следует иметь в виду, что повышенный брызгоунос из мокрых аппаратов понижает температуру отходящих дымовых газов (ниже расчетной), ухудшая тем самым рассеивание их в атмосфере.

Отложения, образующиеся на внутренних стенках корпуса, перио-

дически отваливаются и закупоривают выходной патрубок в днище аппарата. Это может привести к накоплению воды в нижней части скрубберов и переливу ее во входной патрубок, прорыву пробки отложений и выбросу избытка воды через гидрозатвор в помещение.

В золоулавливающих аппаратах типа МП-ВТИ отмечаются сильный износ решеток, а также износ оросительных сопел и форсунок и частое их засорение из-за неудовлетворительной фильтрации воды.

В процессе эксплуатации установок мокрой очистки газов необходимо:

следить за герметичностью аппаратов и коммуникаций, не допуская утечек газа, орошающей жидкости или чрезмерных подсосов воздуха; поддерживать оптимальный водный режим работы аппаратов, особенно пенных и ротоклонов, следя за достаточным орошением газа в турбулентных газопромывателях, насадочных скрубберах и других аппаратах, а также постоянно удалять на них шламовую пульпу и транспортировать ее в отведенные места;

обеспечивать оптимальный газовый режим работы, в особенности в турбулентных газопромывателях с регулируемым перепадом давления, который определяет эффективность очистки газа;

следить за надежной работой каплеуловителей, установленных после аппаратов мокрой очистки газа, в целях достаточной механической осушки его;

обеспечивать оптимальный режим работы сооружений по регенерации орошающей жидкости (осветление, охлаждение, обработку реагентами и т. д.) и утилизации уловленного шлама;

не допускать скоплений шлама в сооружениях или отложений его в трубопроводах и оборудовании оборотного водоснабжения.

В целях уменьшения брызгоуноса следует поддерживать оптимальные скорости газов на входе в аппараты. Так, для скрубберов ЦС-ВТИ скорость газов не должна превышать 22 м/с, для пылеуловителя МП-ВТИ 14 м/с; для пенного аппарата скорость газа над последней решеткой должна быть не более 1,2—1,5 м/с.

В процессе эксплуатации необходимо вести наблюдения за форсунками и соплами и своевременно их прочищать. Для предупреждения конденсации водяных паров по газовому тракту пылеуловителя необходимо следить за температурой дымовых газов, выходящих из аппарата, которая должна быть выше температуры точки росы на 20—30°C. Необходимо также следить за непрерывностью вытекания шлама через гидравлический затвор и за состоянием внутренней поверхности пылеуловителя.

Не допускается работа аппаратов без орошения, даже кратковременная, или с использованием воды, не очищенной от механических примесей в гравийных фильтрах. Следует регулярно промывать входные патрубки пылеуловителей от налипающей на стенки пыли.

При обслуживании пенного аппарата следует постоянно поддерживать оптимальный процесс пенообразования. Высота слоя пены на решетках должна составлять 80—100 мм. Возрастание гидравлического сопротивления без увеличения расхода воды или количества газа указывает на забивание отверстий решетки. Падение газодинамического сопротивления решетки без уменьшения расхода воды или газа свидетельствует об увеличении диаметра отверстий вследствие коррозии решеток.

При эксплуатации скоростного газопромывателя особое внимание должно уделяться наблюдению за расходом и температурой газа, расходом воды, подаваемой на орошение, гидравлическим сопротивлением аппарата. Для этого установка должна быть оборудована соответствующими приборами контроля. В случае отклонений в расходе воды

Признаки неисправности	Причины
Выброс из скруббера Вентури неочищенного газа. Низкое (по сравнению с нормальным режимом эксплуатации) гидравлическое сопротивление. Расходомер орошающей жидкости показывает нулевой (или близкий к нему) расход. Манометр в напорном трубопроводе показывает нуль.	В системе орошения не работает насос Перекрыты вентили на всасывающих напорных трубопроводах Засорился водяной фильтр В магистрали нет орошающей жидкости
То же, но в напорной магистрали давление орошающей жидкости повышенное (по сравнению с нормальным режимом эксплуатации)	Забиты оросители или участок водяной магистрали между манометром и скруббером Вентури
Очистка газа ухудшилась. Гидравлическое сопротивление скруббера Вентури несколько ниже нормы. Расход жидкости нормальный. Снизились расход и давление орошающей жидкости	Частичное засорение оросителей Уменьшение расхода газа Нарушение распределения жидкости по сечению аппарата Частично перекрыты вентили на всасывающих или напорных водяных магистралях Засорение водяного фильтра Вышел из строя водяной насос (или его электродвигатель)
Уменьшился объем газа, проходящий через скруббер. Гидравлическое сопротивление аппарата в пределах нормы или несколько выше. Расход жидкости нормальный.	Уменьшилось сечение трубы Вентури вследствие образования отложений Частичное перекрытие газового тракта посторонними предметами
Увеличилась концентрация пыли в газе на выходе из скруббера Вентури. Количество проходящих через систему газов, расход орошающей жидкости и гидравлическое сопротивление скруббера Вентури соответствуют нормальному режиму эксплуатации	Нерегламентированное повышение концентрации пыли в газах от технологического агрегата
Большое количество брызг в газе за скруббером Вентури	Подсосы воздуха через гидрозатвор каплеуловителя Забит гидрозатвор каплеуловителя Объемная конденсация паров из газов, выходящих из скруббера Вентури с высоким влагосодержанием

проверяется работа водяных форсунок; если они засорились, производится их чистка.

При увеличении гидравлического сопротивления аппарата необходимо проверить, не зарастают ли пылью горловина и диффузор промывателя или входной патрубок циклона-каплеуловителя.

При остановке каплеуловителя на ремонт или периодическую промывку доступ людей внутрь пылеуловителя должен производиться с соблюдением правил безопасности, предусмотренных инструкцией по эксплуатации. Если необходимо попасть внутрь аппарата через люк, находящийся в цилиндрической части аппарата, осуществляют соответствующие мероприятия, заключающиеся либо в устройстве подмостков внутри аппарата (с закреплением опорных балок в отверстиях смотровых люков), либо в закреплении под люком монтажной люльки спуском цепей через отверстия смотровых люков.

При эксплуатации ротоклонов необходимо следить за поддержанием постоянного уровня жидкости в аппарате, так как даже незначительное изменение уровня может привести к резкому снижению эффективности или значительному увеличению гидравлического сопротивления. Процесс поддержания уровня жидкости рекомендуется автоматизировать.

Шлам из отстойника ротоклона должен удаляться периодически (вручную) или непрерывно с помощью скребкового конвейера. Для компенсации потерь воды в ротоклоне вследствие испарения и уноса со шламом в аппарат должна подаваться вода в количестве примерно $0,03 \text{ л/м}^3$ очищаемого газа. Допускается в процессе эксплуатации изменять производительность ротоклонов в пределах 25 % от номинальной, так как при этом не снижается эффективность аппарата. Необходимо постоянно следить за температурой газа и стремиться не допускать ее отклонений от рекомендуемых инструкциями значений.

Скрубберы Вентури — наиболее распространенные аппараты, эффективность которых во многом зависит от качества монтажа. Корпуса скрубберов Вентури могут быть литыми, сварными, а при больших размерах сборными из нескольких элементов (на фланцевых соединениях). Перед монтажом все узлы скруббера Вентури подлежат проверке. На внутренних поверхностях не должно быть неровностей (уступов, вмятин, наплывов). Переход от конфузора к горловине необходимо выполнять плавным (снятием фаски или скруглением). При подготовке к пуску скруббера Вентури следует промыть коллекторы, удалить из них грязь и посторонние примеси.

В табл. 5.12 приведены возможные неисправности в установках со скрубберами Вентури.

При эксплуатации мокрых пылеуловителей любого типа не допускается образование отложений в орошающих устройствах. Для этого необходимо очищать орошающую воду от механических примесей. Опыт эксплуатации показывает, что такую очистку лучше проводить в гравийных фильтрах.

Глава 6 СПОСОБЫ ВЫГРУЗКИ И ТРАНСПОРТИРОВКИ ПЫЛИ ИЗ АППАРАТОВ И СИСТЕМ ГАЗООЧИСТКИ. ИСПОЛЬЗОВАНИЕ УЛОВЛЕННОЙ ЗОЛЫ И ПЫЛИ

6.1. УСТРОЙСТВА ДЛЯ СУХОЙ ВЫГРУЗКИ ПЫЛИ

Вывод пыли, уловленной аппаратами газоочистки, осуществляется через течки бункеров с помощью затворов, основная функция которых заключается в своевременном выводе пыли из бункеров аппаратов без подсосов наружного воздуха.

Подсосы воздуха в значительной мере увеличивают вторичный вынос пыли из газоочистных аппаратов, повышают нагрузку на дымососы, вызывают коррозию стенок бункеров, ухудшают истечение пыли из бункеров, снижают производительность затворов, приводят к прекращению выгрузки пыли из бункеров.

Выбор эффективно и надежно действующих затворов определяется конструкцией бункеров, количеством выгружаемой пыли, ее насыпной плотностью, текучестью, температурой, слипаемостью, абразивностью, а также перепадом давления и температурой окружающей среды. Кроме того, конструкция и размеры пылевывозного устройства зависят от количества уловленной пыли и периодичности пылевывозки. Поэтому проектирование системы пылевывозки осуществляется комплексно с учетом средств, предотвращающих зависание пыли в бункерах аппаратов, и выбора надежных запорных и транспортных механизмов применительно к конкретным условиям.

Шиберные или дисковые затворы используются в качестве отсекающих устройств перед затворами непрерывного действия с целью проведения ремонта или замены последних без остановки технологического оборудования; в этом случае объем бункера должен обеспечивать возможность резервного накопления пыли на время ремонта.

Шиберные самоочищающиеся пылевые затворы изготавливаются в основном с герметичным исполнением (рис. 6.1). Плоская заслонка, перемещающаяся в направляющих пазах затвора, в герметичных винтовых затворах прижимается к течке бункера с дополнительным усилием, создаваемым эксцентриковыми роликами. Шиберные затворы при отсутствии над ними уплотняющего слоя пыли обеспечивают хорошую герметичность при давлении до $\pm 1 \text{ кПа}$. Герметичные затворы могут работать при давлении до $\pm 3 \text{ кПа}$. Привод затвора может быть ручным (рычажным винтовым) или работать от электродвигателя.

К недостаткам шиберных затворов относятся возможность заклинивания, низкая герметичность, необходимость прикладывания больших усилий для перемещения заслонки через слой пыли.

Дисковый затвор (рис. 6.2) выполнен в виде дисковой подружженной задвижки с ручным рычажным приводом, позволяющим поворачивать диск-заслонку на некоторый угол в горизонтальной плоскости вокруг оси вращения.

Клапанный затвор снабжен либо плоским клапаном с резиновым уплотнением (для выгрузки пыли с температурой до 100 °С), либо сферическим клапаном (рис. 6.3), установленным на шаровой плите (допустимая температура пыли 400 °С). Клапанный затвор имеет ручной привод и обычно используется при перепадах давления ± 1 кПа.

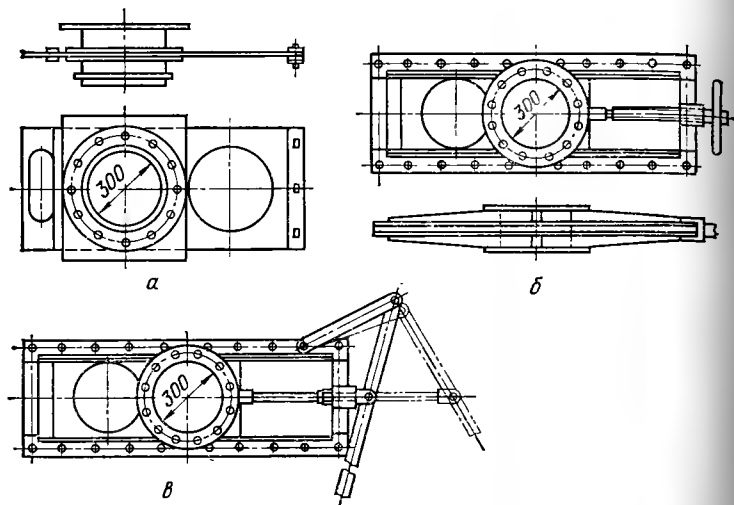


Рис. 6.1. Шибберные самоочищающиеся затворы:

а — обычный; б — герметичный винтовой; в — герметичный рычажный

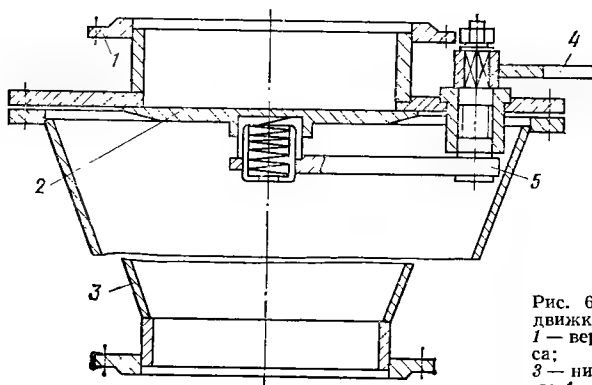


Рис. 6.2. Дисковая задвижка:
1 — верхняя часть корпуса;
2 — диск-заслонка;
3 — нижняя часть корпуса;
4 — рукоятка; 5 — рычаг

Если разгрузка пыли из бункера осуществляется поочередно в две емкости, то за основным затвором устанавливается поворотная заслонка (рис. 6.4).

Пылевывозные устройства непрерывного действия. К ним относятся пылевые затворы маятникового типа (мигалки), шлюзовые, ру-

кавные, винтовые и пневматические затворы, а также некоторые виды конвейеров.

Пылевые затворы без привода

При разрежении в бункере до 1,5 кПа для выгрузки равномерно подаваемой, тяжелой неслипающейся и текучей пыли применяются маятниковые затворы типа мигалка. Простейшим затвором этого типа является плоская мигалка (рис. 6.5), применяемая на стояках аппаратов, работающих с псевдоожиженным слоем. В момент, когда статический

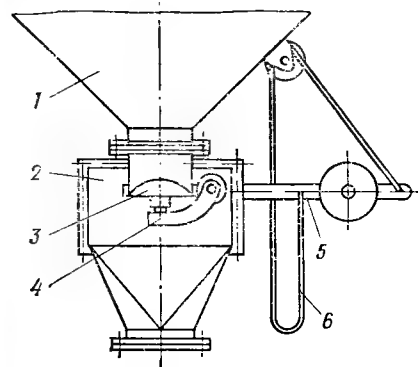


Рис. 6.3. Клапанный затвор:

1 — бункер; 2 — корпус; 3 — клапан;
4 — рычаг угловой; 5 — рычаг с противовесом; 6 — канат

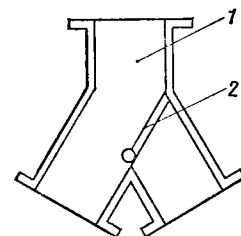


Рис. 6.4. Поворотная заслонка:

1 — корпус; 2 — заслонка

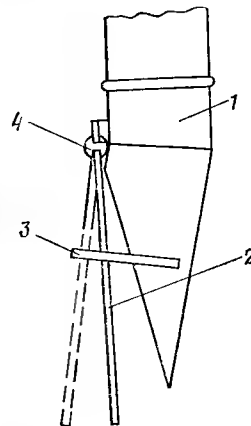


Рис. 6.5. Затвор типа плоская мигалка:

1 — стояк; 2 — язык; 3 — ограничитель; 4 — петля

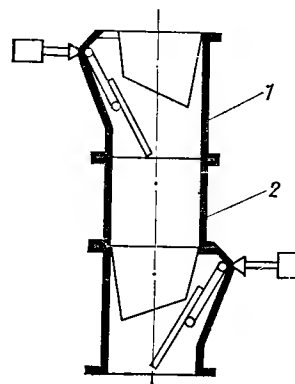


Рис. 6.6. Затвор типа мигалка двойная с противовесами и плоским откидным клапаном:

1 — клапан откидной; 2 — корпус

напор слоя пыли в стояке превысит разность давлений в аппарате и пылеуловителе (например, в циклоне), язык мигалки открывается и пыль высыпается из стояка. Закрытие языка зависит от величины перепада давления на стояке.

В практике встречаются двойные мигалки с плоским откидным клапаном (рис. 6.6), а также мигалки, конструкция которых разработана в ПНР (рис. 6.7). Запирающий выпускное отверстие бункера клапан укреплен на штоке, присоединенном к рычагу с противовесом. На том же конце рычага по оси бункера укреплен конусная воронка с широким отверстием. Когда уровень пыли в бункере достигает отверстия

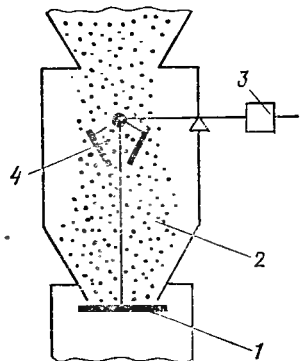


Рис. 6.7. Затвор типа мигалка с противовесом:

1 — клапан; 2 — шток; 3 — противовес; 4 — воронка

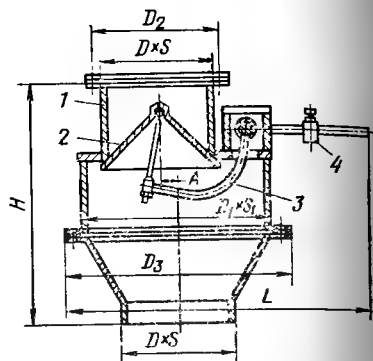


Рис. 6.8. Мигалка с конусным клапаном:

1 — входной патрубок; 2 — клапан; 3 — рычаг; 4 — груз

воронки, то пыль, скапливаясь, увеличивает массу воронки, в результате чего рычаг выходит из состояния равновесия, клапан опускается и открывает выпускное отверстие.

К недостаткам мигалок относятся: низкая герметичность, так как контакт между посадочным седлом и клапаном зачастую бывает неплотным из-за попадания пыли в зазор между контактирующими поверхностями; невозможность использования их при работе на легких и на слипающихся пылях, а также при работе аппаратов газоочистки под избыточным положительным давлением [108—110].

Для выгрузки пылей с сильно выраженными адгезионными свойствами можно использовать рукавные пылевые затворы. Такими затворами комплектуются аппараты газоочистки, используемые, например, в промышленности строительных материалов. Затвор состоит из эластичного рукава, выполненного из стеклоткани, резины и других подобных материалов.

Мигалки с конусным клапаном (рис. 6.8 и табл. 6.1) могут устанавливаться в случае, если разрежение над ними не превышает 1000 Па. При больших разрежениях могут устанавливаться последовательно две мигалки. В случае работы на влажных пылях угол раскрытия конуса уменьшается с 90 до 60°. Высоту вертикального участка над мигалкой h , м, необходимую для предупреждения подсосов воздуха, определяют по формуле

$$h = \Delta p / g \rho_{\text{нас}} + 0,1,$$

(6.1)

ТАБЛИЦА 6.1
ТИПОРАЗМЕРЫ МИГАЛОК С КОНУСНЫМ КЛАПАНОМ СЫЗРАНСКОГО
ТУРБОСТРОИТЕЛЬНОГО ЗАВОДА, мм

Условный диаметр D_y , мм	Размер, мм							Масса, кг
	$D \times S$	$D_1 \times S_1$	D_2	D_3	H	L	A	
100	108×4	219×6	134	302	412	377	24	18,0
150	159×5	273×7	186	356	412	486	22	28,0
200	219×6	351×8	250	434	462	590	34	46,0
300	325×8	480×6	350	564	557	750	25	86,0
450	480×6	720×7	512	804	620	1032	20	159,7
600	630×6	920×7	675	1005	918	1316	18	269,7

где Δp — разрежение в аппарате, Па; g — ускорение силы тяжести, м/с²; $\rho_{\text{нас}}$ — насыпная плотность золы или пыли, кг/м³.

Диаметр мигалки (внутренний диаметр входного патрубка) D , мм, рассчитывают по формуле

$$D = 1,12 \sqrt{G_{\text{ул}} q}, \quad (6.2)$$

где $G_{\text{ул}}$ — количество выгружаемой пыли, кг/с; q — удельная нагрузка мигалки, при отсутствии других рекомендаций может быть принята в пределах 60—100 кг/(м²·с).

Нормализованные значения условного диаметра мигалки составляют ряд: 100, 150, 200, 300, 450 и 600 мм (см. табл. 6.1).

Регулировка мигалки — создание требуемой герметичности, т. е. отсутствия подсоса воздуха, и равномерный спуск пыли при минимальном колебании клапана — сводится к нахождению наиболее удобного положения груза, обеспечивающего поддержание определенного столба пыли над клапаном мигалки.

При отрегулированной работе мигалки пыль или зола должны непрерывно и почти равномерно высыпаться наружу. Клапан либо стоит неподвижно, либо совершает медленные колебания с амплитудой 2—3 мм, не ударяясь об обрез трубы. Если мигалка недогружена, она теряет чувствительность и работает неудовлетворительно.

Мигалки с плоским откидным клапаном (рис. 6.9, табл. 6.2 и 6.3) используются, если участок течки, непосредственно примыкающий

ТАБЛИЦА 6.2
ТИПОРАЗМЕРЫ КЛАПАННЫХ ЗАТВОРОВ (МИГАЛОК С ПЛОСКИМ
КЛАПАНОМ)

Условный диаметр D_y , мм	Размер, мм						Масса, кг
	D_H	D	D_1	H	I	L	
200	219	217	325	600	150	305	83,9
250	273	273	377	660	170	325	122,0
300	325	321	426	700	195	350	138,0
400	426	416	630	810	250	848	229,0
500	530	527	720	850	300	948	272,0
600	630	629	820	900	350	1048	354,0

ТАБЛИЦА 6.3
РАСПОЛОЖЕНИЕ ГРУЗА В ЗАВИСИМОСТИ ОТ УГЛА НАКЛОНА
УСТАНОВКИ МИГАЛКИ С ПЛОСКИМ КЛАПАНОМ

D_y , мм	Масса груза на одном рычаге, кг	Угол наклона оси затвора, °			
		90	80	70	60
		L , мм (рис. 6.9.)			
Мигалки с одним клапаном					
200	5	440	410	370	310
250	10	430			320
300	15	500	480	470	370
Мигалки с двумя клапанами					
400	10	530	510	510	480
500		900	860	860	850
600	15	1030	1030	1010	1000

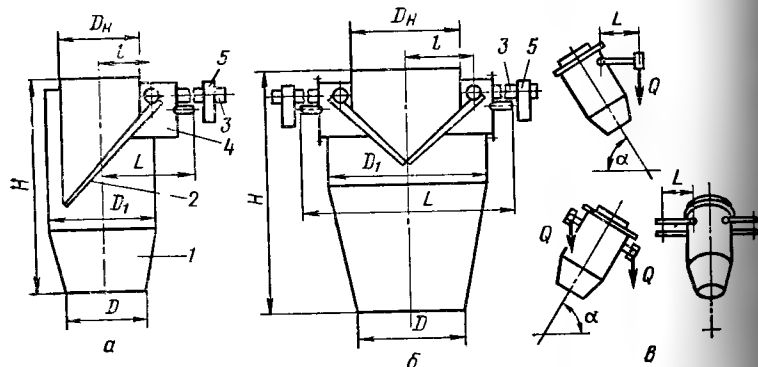


Рис. 6.9. Мигалка с плоским клапаном:

a — с одним клапаном; b — с двумя клапанами; $в$ — схемы установки мигалок для подбора груза; 1 — корпус; 2 — клапан; 3 — рычаг; 4 — лючок; 5 — груз

к устройству для выгрузки золы или пыли, имеет наклон к вертикали более 5°, и в этом случае конусные мигалки устанавливать не допускается.

Противовесы мигалок с плоским откидным клапаном, указанные в табл. 6.3, подобраны с учетом разрежения на участке их установки до 2000 Па и наличия уплотняющего столба пыли высотой 0,8—1,0 м.

Пылевые затворы с приводом

Шлюзовые питатели роторного типа с электроприводом (рис. 6.10) являются наиболее распространенными в аппаратах пылеулавливания. Существенным недостатком этих механизмов является подсос воздуха

в аппарат при отсутствии слоя пыли в бункере. Поэтому их желательно применять в сочетании с уровнем, отключающим питатель до того, как будет сработан весь слой скопившейся над ним золы или пыли, и включающим его вновь после того, как уровень уловленного материала в бункере газоочистного аппарата достигает высоты около 0,5 м. Технические характеристики и основные габаритные размеры шлюзовых питателей Дмитровградского завода химического машиностроения приведены в табл. 6.4.

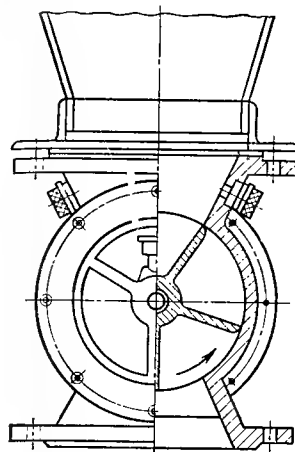


Рис. 6.10. Шлюзовой роторный питатель

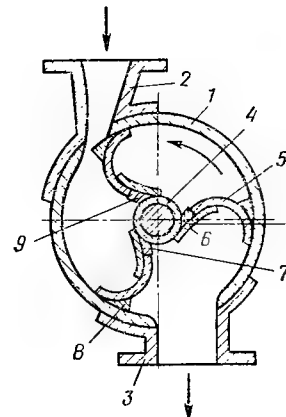


Рис. 6.11. Герметичный шлюзовой затвор

Кроме серийных шлюзовых питателей, для специфических условий, требующих повышенной надежности и герметичности, разработано несколько конструкций питателей. В шлюзовом питателе (рис. 6.11) лопасти шарнирно закреплены на роторе и снабжены уплотнительными элементами 7 и 8. Пыль поступает в устройство через загрузочный патрубок 2 на дугообразную лопасть 5, которая отсекает определенную порцию пыли и подает ее в разгрузочное отверстие. При этом свободный конец лопасти 5 уплотнительным элементом 8 и пружиной 6 прижимается к рабочей поверхности корпуса и обеспечивает герметичность в зазоре между лопастью 5 и корпусом 1.

Когда лопасть 5 достигает входного окна разгрузочного патрубка 3, она своим свободным концом с закрепленным на нем уплотнительным элементом 8 силой пружины 6 резко отбрасывается в разгрузочный патрубок 3, поворачиваясь вокруг своего шарнира 9. Сыпучий материал поступает в разгрузочный патрубок 3, одновременно лопасть 5 освобождается от загрязнений. При дальнейшем повороте ротора 4 лопасть 5 возвращается в исходное положение, пружина 6 сжимается, а уплотнительный элемент 8 прижимается этой пружиной к рабочей поверхности корпуса.

Благодаря тому что лопасти ротора выполнены поворотными, а входное окно разгрузочного патрубка имеет размеры, которые больше габаритов свободного конца лопасти вместе с уплотнительными элементами, устройство надежно обеспечивает высокую герметичность, повышает производительность загрузки [108].

ТЕХНИЧЕСКИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ ШЛЮЗОВЫХ ПИТАТЕЛЕЙ
ДМИТРОВГРАДСКОГО ЗАВОДА ХИМИЧЕСКОГО МАШИНОСТРОЕНИЯ

Марка питателя	Диаметр за- грузочного штуцера, мм	Производи- тельность, м ³ /ч	Ротор			Электродвигатель		
			частота вращения, об/мин	диаметр, мм	емкость, м ³	марка	мощность, кВт	частота вращения вала, об/мин
ШП-15	100	0,14—1,34	2—19	150	0,0012	4AX80A6 BAO-21-6	0,75 0,8	920 930
ШП-20	150	0,39—3,7	2—19	200	0,0033	4AX80B6 BAO-21-6	0,75 0,8	920 930
ШП-30	250	1,46—14,2	2—19	300	0,0126	4AX80B6 BAO-22-6	1,1	920 930
ШП-45	400	5,9—55,8	2—20	450	0,05	4AX904 BAO-32-6	2,2	1420 950

Примечания: 1. Для питателей с регулируемым приводом производительность имеет максимальное значение. 2. В числителе — для общепромышленного исполнения, в знаменателе — для взрывозащитного.

В другой конструкции шлюзового затвора повышены герметичность достигается установкой в корпусе затвора второго лопастного ротора, при этом пространство между роторами соединено воздухоотводящей трубой с пылеуловителем, работающим под разрежением (рис. 6.12).

В шлюзовом питателе уменьшение подсосов воздуха через зазоры между лопастями и корпусом ротора достигается установкой самозатачивающихся накладок на лопасти ротора. С целью обеспечения надежной работы на пылях с повышенной влажностью накладки на каждой паре диаметрально расположенных лопастей закреплены на противоположных поверхностях последних [108].

Двойные пылевые затворы с электроприводом применяются для дозирования выгрузки пыли при температуре до 400 °С и разрежении в аппаратах до 1 кПа.

На рис. 6.13 показан двойной пылевой затвор конструкции Гипрогазоочистки производительностью 1,5 кг/с, выпускаемый Нижнетагильским машиностроительным заводом.

Конструктивно привод рычагов запирающих клапанов выполняется во многих вариантах — с использованием профилированного кулачка, штанг или пружин, а регулирование производительности затвора достигается путем изменения диаметра клапана, числа оборотов двигателя, использования промежуточной емкости между клапанами [108].

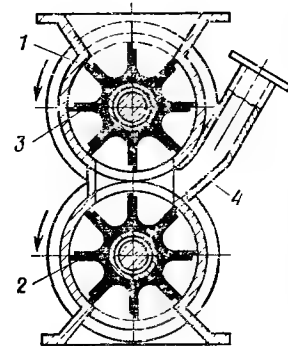


Рис. 6.12. Герметичный двухлопастный шлюзовый затвор: 1, 2 — корпус; 3 — ротор; 4 — патрубок отсоса

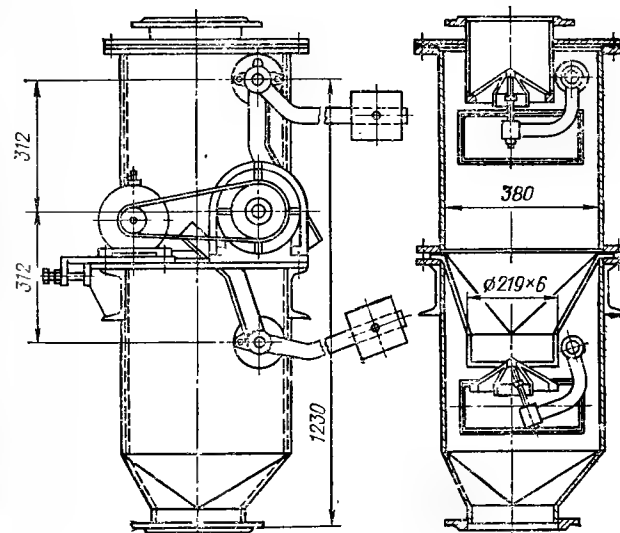


Рис. 6.13. Двойной пылевой затвор с электроприводом

Винтовой затвор с пылевой пробкой используется для выгрузки пыли с температурой до 250 °С при перепадах давления до 15 кПа. Винтовой затвор конструкции Ленгипрогазоочистки (рис. 6.14) состоит из винта 1 с переменным шагом, консольно закрепленного в подшипниковой охлаждаемой опоре 2. На другом конце вала насажена звездочка 3, которая посредством цепной передачи получает вращение от мотора-редуктора. На выходе корпуса имеется обратный клапан 4. Усилия пружина клапана к седлу регулируются грузами 5, установленными на ры-

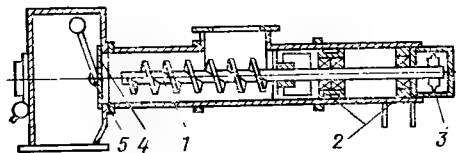


Рис. 6.14. Винтовой затвор

чагах, которые закреплены на одном валу с клапанами. Благодаря этому в затворах создается пылевая пробка, гарантирующая герметичность в период выгрузки пыли. При отсутствии пыли герметичность достигается за счет плотного прилегания клапана к седлу. Техническая характеристика винтового затвора следующая:

Производительность, м³/ч	8,8
Максимальная температура пыли, °С	250
Максимальное разрежение, МПа	0,015
Привод	Мотор-редуктор МП132-50-45×6
Частота вращения винта, об/мин	30
Шаг винта	Переменный
Диаметр винта, мм	250

По сравнению со шлюзовыми винтовой затвор обеспечивает более высокую герметичность, но требует высокой точности изготовления и более энергосмоков.

Пневмослоевые затворы ПСЗ и пневмослоевые затворы-переключатели ПСП разработаны Всесоюзным теплотехническим институтом (ВТИ) для удаления золы из бункеров сухих золоуловителей [44].

На тепловых электростанциях с системами сбора сухой золы аэрожелобами обычно устанавливают два параллельных аэрожелоба, один из которых является резервным, поэтому практическое применение нашли в основном аппараты типа ПСП (рис. 6.15). При работе аппарата зола из бункера 1 поступает в спусковой стояк 2, разделенный на две секции сплошной вертикальной перегородкой 3. К двум боковым стенкам примыкают подъемные стояки 4, из которых по наклонным рукавам 5 зола направляется в соответствующую транспортную магистраль. Под каждым подъемным стояком и примыкающей к нему секцией спускового стояка имеются автономные аэрирующие устройства 6 с соответствующим подводом сжатого воздуха 7. При подаче воздуха в аэрирующее устройство расположенный над ним слой золы в подъемном и спускном стояках приходит в псевдосжиженное состояние и начинается движение золы из бункера в транспортную магистраль, пока уровень слоя в подъемном и спускном стояках не выровняется. При отключении аэрирующего воздуха движение золы прекращается. Ос-

новные технические характеристики затворов-переключателей ПСП приведены ниже:

	ПСП-300×300	ПСП-400×400	ПСП-500×500
Расход сжатого воздуха, м³/ч	16	30	45
Производительность при высоте слоя золы 1 м, т/ч	5—10	10—15	15—20
Габаритные размеры, мм:			
длина	712	912	1112
ширина	406	506	606
высота	1200	1200	1200

Пневмослоевые затворы рекомендуются использовать на пылях, обладающих способностью к псевдосжижению.

Для расширения диапазона применения пневмослоевого затвора предложено снабдить его вибропобудителем [44]. Наложение вибрации позволяет привести в псевдосжиженное состояние многие пыли, которые плохо аэрируются. Пневмовиброслоевой затвор представляет собой емкость, в которую опущен пылеспускной стояк бункера. Дно емкости выполнено из пористой перегородки, под которую подается воздух. Внутри емкости и стояка установлены решетки, подвешенные на амортизаторах независимо от емкости и стояка. Решетки приводятся в колебательное движение от вибратора, размещенного снаружи. Затвор обеспечивает равномерный вывод пыли из аппарата под разрежением до 10—15 кПа.

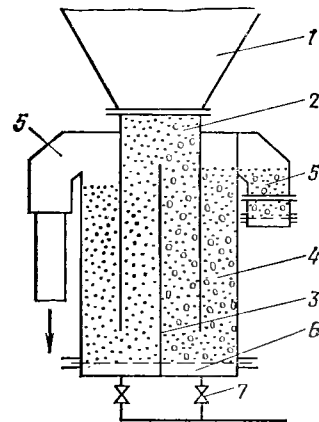


Рис. 6.15. Пневмослоевой затвор-переключатель системы ВТИ

6.2. УСТРОЙСТВА ДЛЯ МОКРОЙ ВЫГРУЗКИ ПЫЛИ И ЗОЛЫ

При современном уровне развития техники газоочистки и пылеулавливания широко применяются сухие системы выгрузки и транспортировки пылевидных материалов; в этом случае отпадает необходимость шламозового хозяйства. Мокрые системы транспортировки золы применяются на тепловых электростанциях, работающих на твердом топливе, а также в системах мокрого пылеулавливания.

В СССР ведутся работы по выгрузке и транспортировке золы электростанций сухим способом. На ряде станций такие системы внедрены в промышленном масштабе (Прибалтийская ГРЭС, Ладыженская ГРЭС).

При гидравлическом транспорте уловленной золы или пыли в качестве затворов под газоочистными аппаратами в большинстве случаев устанавливаются золосмывные аппараты и гидрозатворы. Золосмывные аппараты предназначены для постоянного смыва золы из бункеров золоуловителей, работающих под разрежением. Отверстие в крышке ци-

ТАБЛИЦА 6,5
ТЕХНИЧЕСКАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА ЗОЛОСМЫВНЫХ АППАРАТОВ

Производительность по сухой золе, кг/с	Диаметр отверстия сопла, мм	Давление воды перед соплом, Па	Кратность смыва, кг/кг	Производительность по сухой золе, кг/с	Диаметр отверстия сопла, мм	Давление воды перед соплом, Па	Кратность смыва, кг/кг
0,38	9	0,20	3,9	0,85	12	0,30	2,9
0,4	10	0,20	3,2	1,1	16	0,30	4,0
0,55	12	0,30	3,5	1,4	16	0,30	3,2
0,7	12	0,30	3,4	1,7	18	0,30	3,4

линдра аппарата для присоединения к золотой точке вырезается по месту при монтаже. В золотой точке должно быть предусмотрено устройство для отключения подачи золы. Основные характеристики золосмывных аппаратов приведены в табл. 6,5.

Золосмывные аппараты поставляются с соплами, диаметры отверстий которых соответственно равны 9 и 16 мм. Рассверловка отверстия до большего диаметра выполняется при монтаже или оговаривается при заказе.

При значениях производительности, отличающихся от табличных, диаметр сопла d , м, находят по формуле

$$d = 0,17 \sqrt{KG/\mu \sqrt{p}} \quad (6.3)$$

где K — кратность смыва (отношение количества жидкости к количеству пыли), принимается в пределах 2,5—4 кг/кг; μ — производительность аппарата по сухой золе, кг/с; G — коэффициент расхода сопла, в зависимости от конусности составляет 0,870 и 0,924; p — давление воды перед соплом, Па.

Институтом «ВНИПИчерметэнергоочистка» совместно с Никопольским заводом ферросплавов разработан прямоточный гидрозатвор с резиновым клапаном (рис. 6,16, а).

Рабочий орган гидрозатвора — резиновый клапан 1 — надет на шламовыпускной патрубок 2, присоединенный к нижней части конического бункера 3. Клапан выше упорного кольца 4 стянут полухомутами 5. Упорное кольцо предотвращает сползание клапана в процессе работы. Уплотнение места закрепления клапана на патрубке осуществляется плотной навивкой асбестового шнура 6, пропитанного жидким стеклом.

На рис. 6,16, б показана конструкция клапана, который изготовлен из двух листов 1 мягкой эластичной резины, наложенных друг на друга и соединенных по боковым сторонам путем вулканизации. Резиновые листы клапана имеют трапецевидную

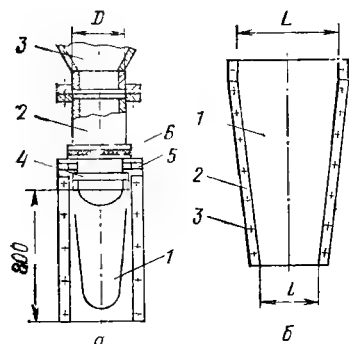


Рис. 6,16. Гидрозатвор с резиновым клапаном

форму, благодаря которой исключаются деформации и перекосы клапана после его установки на шламовыпускном патрубке. При этом длина большого основания трапеции $L = \pi D/2$, а длина меньшего основания трапеции l равна диаметру шламового патрубка. Для обеспечения жесткости соединяемые стороны листов 1 скреплены стальными полосами 2 при помощи болтов 3.

Длина резинового клапана составляет примерно 2,5—3 диаметра шламовыпускного патрубка, толщина резиновых листов клапана выбирается в пределах 3—6 мм в зависимости от разрежения в пылеуловителе. При разрежении до 10 кПа длину клапана рекомендуется выбирать равной трем диаметрам патрубка, толщину резины 3—4 мм. При более высоком разрежении длина клапана должна составлять 2,5 диаметра шламовыпускного патрубка при толщине резиновых листов 5—6 мм.

Если пылеуловитель зафутерован плитками, диаметр шламовыпускного патрубка должен обеспечивать свободный проход плиток через патрубок в случае их выпадения. Но во избежание перекоса клапана и подсосов в пылеуловитель диаметр патрубка не должен превышать 300 мм.

Гидрозатвор работает следующим образом: при пуске системы газоочистки под воздействием создавшегося в аппарате разрежения резиновые листы плотно смыкаются в нижней части клапана, удерживая постепенно увеличивающийся столб шлама, стекающего в гидрозатвор из аппарата.

При увеличении разрежения в системе, превышающей разрежение в пылеуловителе, листы клапана размыкаются и избыточный шлам сливается через резиновый клапан. При этом над клапаном постоянно находится столб шлама, служащий гидрозатвором и препятствующий подсосам воздуха в аппарат.

Отвод шламовой воды из мокрых пылеуловителей осуществляется гидрозатворами, которые изолируют аппарат от внешней среды и обеспечивают поддержание в нем необходимого манометрического режима (давления или разрежения). Оптимальная скорость отвода (слива) жидкости из аппарата составляет 0,2—0,3 м/с, максимально допустимая скорость слива 0,5—0,6 м/с.

В связи с простотой конструкции обычных гидравлических затворов специально разработанных нормалей на них нет. На практике обычно применяются два типа гидрозатворов: в виде петли (рис. 6,17) или открытого промежуточного сосуда (рис. 6,18). Основное достоинство первого гидрозатвора — постоянство скорости слива по всей его длине, что уменьшает возможность выпадения осадка. В нижней части гидрозатвора устанавливается заглушка, позволяющая провести его очистку при остановках. В случаях герметичного отвода шламовой жидкости на восходящей части петли необходима установка воздушника.

Второй тип гидрозатвора чаще всего применяется для вывода из аппаратов растворов. Достоинство затвора заключается в незначительном колебании уровня жидкости при пуске и остановке за счет большого объема промежуточного сосуда. Если пренебречь гидравлическими потерями при движении жидкости по гидрозатвору, необходимая высота гидрозатвора h , м, может быть определена из соотношения

$$h = (B - P_r) / \rho_{ж} \quad (6.4)$$

где B — барометрическое давление, Па; P_r — абсолютное давление газа в аппарате, Па; $\rho_{ж}$ — плотность жидкости, г/см³. Геометрические размеры гидрозатворов при давлении и разрежении показаны на рис. 6,17 и 6,18.

Перед пуском установки гидрозатор должен быть обязательно залит водой до уровня $a-a$. В случае применения в качестве гидрозатора петли объем, занимаемый жидкостью V_1 (см. рис. 6.17), должен быть больше или равен объему V_2 . При использовании промежуточного сосуда (при работе под разрежением) глубина заглубления сливной трубы (см. рис. 6.18) находится из соотношения

$$K > hd^2/D^2, \quad (6.5)$$

где d — диаметр сливной трубы, м; D — диаметр промежуточного сосуда, м. При работе под давлением сливная труба должна быть заглублена ниже уровня $a-a$ на $K=h+(0,05 \div 0,06)$, м.

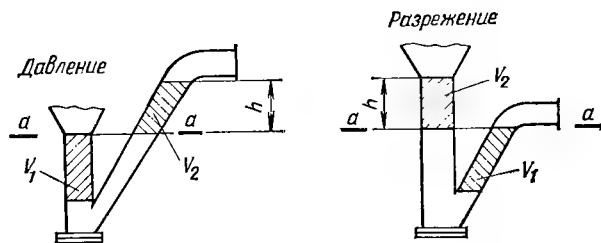


Рис. 6.17. Схема гидрозатора типа «петля»

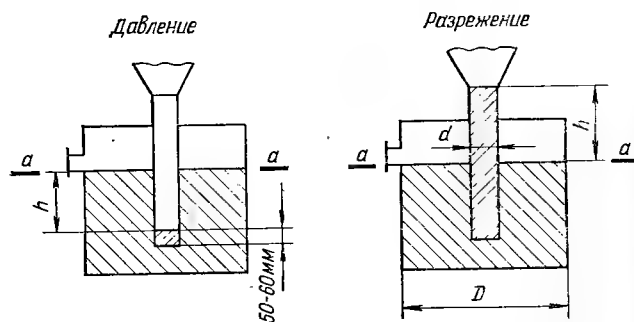


Рис. 6.18. Схема гидрозатора с открытым промежуточным сосудом

Гидрозаторы оборудуются дренажными устройствами и применяются при небольших разрежениях и давлениях (до ± 15000 — 20000 Па), наиболее часто встречающихся на практике.

6.3. ПЫЛЕТРАНСПОРТНЫЕ МЕХАНИЗМЫ И СИСТЕМЫ

Для транспортировки уловленной пыли из бункеров-пылеуловителей в емкости-накопители используются вибрационные, ленточные, скребковые, шнековые конвейеры и системы пневматического транспорта.

Механические конвейеры непрерывного действия комбинируются в различных сочетаниях: винтовой-ленточный, винтовой-скребковый, винтовой-пневматический, вибрационно-ленточный и др.

Различают производительность конвейера массовую Q , т/ч, и объемную V , м³/ч, которые связаны между собой: $Q=V\rho$, где ρ — объемная масса пыли, т/м³.

При движении непрерывным потоком постоянного сечения со скоростью W , м/с, производительность конвейера определяется по формуле: $Q=3600WF$, где F — площадь поперечного сечения потока, м².

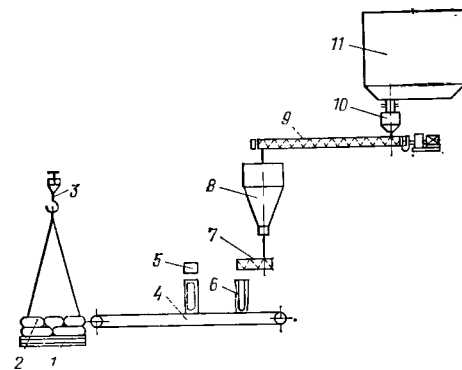
Мощность приводного двигателя N , кВт, определяется по формуле

$$N = K_3 N_o / \eta_{\pi} \eta_o = K_3 N_b / \eta_o,$$

где N_o и N_b — расчетная мощность соответственно на приводном органе (барабане, звездочке, шкиве) и на валу приводного органа, кВт; η_{π} и η_o — к. п. д. соответственно передаточного механизма и приводного органа; K_3 — коэффициент запаса, равный 1,1—1,2.

Рис. 6.19. Ленточный конвейер для транспортировки пыли, уловленной в рукавном фильтре:

1 — поддон; 2 — бумажные мешки; 3 — электро-рота; 4 — ленточный конвейер; 5 — мешкозащитная машина; 6 — мешки; 7 — весы полуавтоматические; 8 — бункер; 9 — конвейер винтовой; 10 — пылевой затор; 11 — рукавный фильтр



Расчетная мощность на валу приводного органа N_b , кВт, вычисляется по следующей приближенной формуле:

$$N_b = Q (K_o L \pm H) / 367, \quad (6.6)$$

где K_o — обобщенный коэффициент сопротивления, лежащий в интервале 0,1—4,2, меньшие значения относятся к несущим конвейерам (ленточный), а большие — к волокащим (скребковым, винтовым); L и H — соответственно длина и высота транспортирования. Знак плюс перед H ставят при подъеме, а знак минус — при уклоне транспортируемой пыли.

Ленточные конвейеры. Рабочим органом ленточного конвейера является обгибающая два концевых барабана лента, тяговое усилие которой передается с приводного барабана. По всей длине лента опирается на роликовые опоры — плоские или желобчатые. Ленточные конвейеры имеют производительность до 700 м³/ч и длину до 1000 м (рис. 6.19).

Ленточные конвейеры широко применяются для транспортировки ценной уловленной пыли, загруженной в упаковочную тару. Во избежание интенсивного пылевыведения они, как правило, устанавливаются после увлажнителей и окомкователей пыли.

Применение ленточных конвейеров для транспортирования пыли ограничивается их малой маневренностью при стесненных производственных площадях.

Скребковые конвейеры. Наиболее распространенные модификации скребковых конвейеров представлены на рис. 5.20. По первой схеме (см. рис. 6.20, а) материал транспортируется отдельными порциями с помощью высоких скребков 1, перемещаемых цепью 5 и опирающихся на

направляющие 2 катками 3, укрепленными на валу 4. При этом происходит трение материала о днище и боковые стенки желоба 6, перемешивание и измельчение, что связано со значительными затратами электроэнергии. Конвейеры данного типа называют конвейерами порционного волочения со сплошными скребками.

По второй схеме 6 материал перемещается низкими скребками. Материал здесь образует сплошное тело волочения высотой, превышающей

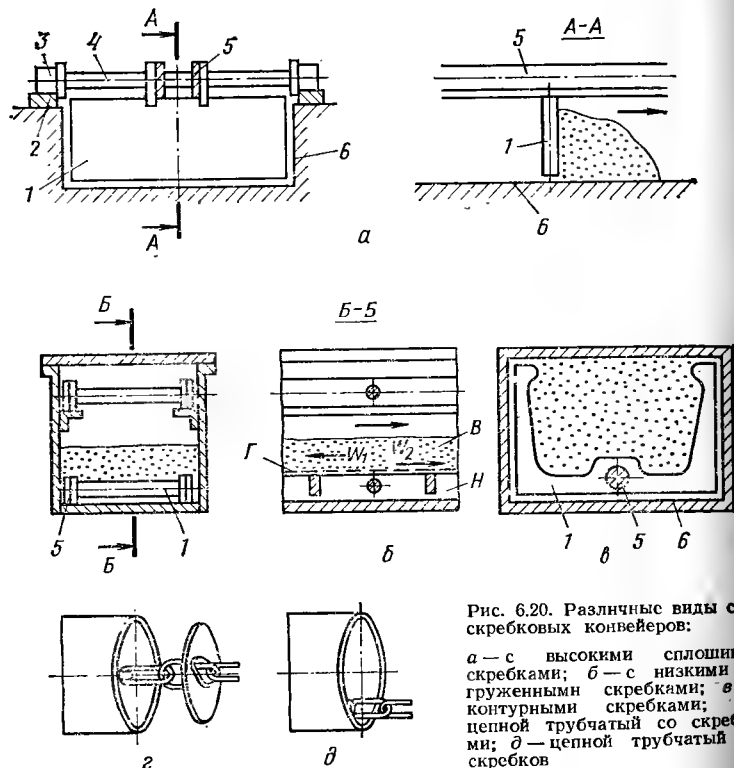


Рис. 6.20. Различные виды схем скребковых конвейеров:

а — с высокими сплошными скребками; б — с низкими погруженными скребками; в — с контурными скребками; г — цепной трубчатый со скребками; д — цепной трубчатый без скребков

высоту скребка. Процесс сплошного волочения основан на том, что сила сцепления F_c верхнего свободного слоя В с нижним, принудительно перемещаемым слоем Н, действующая на границе этих слоев, может превышать силу трения W_1 верхнего свободного слоя о стенки желоба и усилие W_2 , затрачиваемое на подъем или спуск свободного слоя материала. Эти параметры связаны следующей зависимостью: $F_c > W_1 < W_2$. Такие конвейеры называют конвейерами сплошного волочения с низкими скребками. Сопротивление движению материала можно уменьшить, если скребок выполнить по форме, аналогичной контуру желоба на рис. 6.20, в. Это позволяет выполнить конвейер крутонаклонным или вертикальным. Трубчатый конвейер со сплошными скребками и цепной показаны соответственно на рис. 6.20, г и д.

По направлению перемещения насыпного материала скребковые конвейеры разделяют на горизонтальные и наклонные, вертикальные и ком-

бинированные; по числу цепей в тяговом органе — на одно-, двух- и трехцепные. Достоинствами скребковых конвейеров являются универсальность применения, возможность транспортирования разнообразных материалов, в том числе горячих, герметичность, отсутствие пыления [111].

В технике пылеулавливания перемещение сухих пылевидных материалов с помощью конвейеров с открытыми желобами, как правило, практикуется внутри длиномерных бункеров пылеулавливающих аппаратов (электрофильтров, рукавных фильтров). На рис. 6.21 приведены конструктивные решения с использованием скребкового конвейера для электрофильтра с несколькими электрическими полями.

Преимуществом такого решения является сокращение габаритных размеров бункерной части электрофильтра за счет использования бункера с плоским дном. Для предотвращения протоков очищаемого газа под электродной системой над конвейерами установлены на шарнирах отражательные пластины 1, которые периодически приоткрываются для пропуска транспортируемой пыли скребками 2 конвейера.

Использование скребковых конвейеров повышает надежность работы электрофильтров, уменьшает его габариты. Все подшипниковые узлы конвейеров расположены внутри корпуса электрофильтра и не требуют смазки, так как они выполнены из графита.

Конвейеры с закрытыми (герметичными) желобами используются для транспортирования на небольшие расстояния уловленных пылевидных материалов от газоочистных аппаратов до сборных емкостей (рис. 6.22).

В технике пылеулавливания широко используются скребковые конвейеры типа КПС с погружными скребками конструкции ВНИИПТмаша (рис. 6.23), которые представляют закрытый металлический короб, состоящий из отдельных последовательно соединенных секций. Между приводной и натяжной головками внутри короба перемещается тяговая цепь со скребками. Трасса конвейера может быть горизонтальной, наклонной и горизонтально-наклонной.

Горизонтальные и пологонаклонные с углом наклона до 15°, а также комбинированные конвейеры выполнены с низкими плоскими скребками, а конвейеры с крутонаклонными и вертикальными участками трассы — с контурными скребками. Конвейеры с плоскими скребками имеют ширину желоба 125, 200, 320, 500 и 650 мм. Каждому из этих

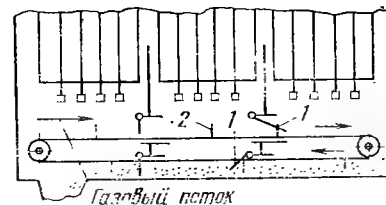


Рис. 6.21. Схема скребкового конвейера электрофильтра с плоским дном

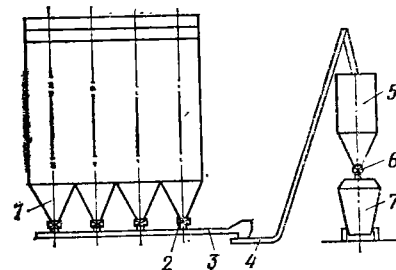


Рис. 6.22. Установка для транспортирования пыли, уловленной рукавным фильтром:

1 — бункер рукавного фильтра; 2 — пылевой затвор; 3 — горизонтальный скребковый конвейер; 4 — крутонаклонный скребковый конвейер; 5 — цилиндрический сборник; 6 — выгрузочное устройство; 7 — передвижная емкость

значений соответствует величина рабочей высоты желоба 90, 125, 200, 320 и 400 мм. Для конвейеров с контурными скребками ширина желоба составляет 125, 200 и 320 мм при соответствующей рабочей высоте 90, 125 и 300 мм. Скорость конвейера 0,1—0,4 м/с. Конвейеры с шириной желоба до 320 мм изготавливают одноцепными, более 320 мм — двухцепными.

Разработаны модификации горизонтально-круглонаклонных конвейеров ВНИИПТмаша типа КПС-320 и КПС-650 [112]. Эти конвейеры

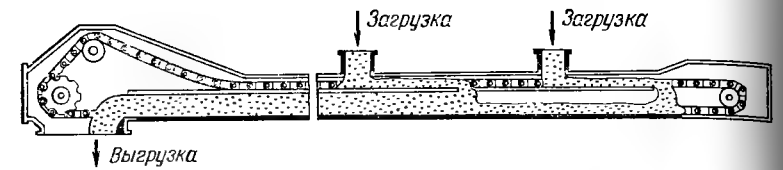


Рис. 6.23. Конвейер типа КПС

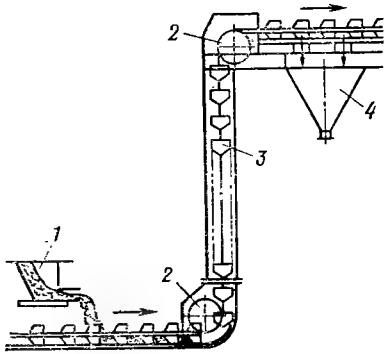


Рис. 6.24. Схема скребково-ковшового конвейера:
1 — бункер пылеулавливающего аппарата; 2 — направляющие ролики; 3 — ковш; 4 — бункер-накопитель

К недостаткам скребковых конвейеров относятся значительный расход электроэнергии, быстрый износ движущихся частей и желобов (особенно при перемещении абразивных пылей), повышенный шум.

В скребково-ковшовых конвейерах (рис. 6.24) с ковшами, жестко связанными с цепями, материал перемещается волочением по желобу на горизонтальных участках и переносом на вертикальных участках.

Скребково-ковшовые конвейеры изготавливают с ковшом шириной 300—1200 мм [113]. При скорости 0,5 м/с они обеспечивают производительность 10—200 т/ч. Длина горизонтальных участков составляет до 100 м, высота подъема до 25 м.

Недостатками скребково-ковшовых конвейеров являются конструктивная сложность, большая масса и высокая стоимость оборудования, повышенный износ трущихся частей, большое число шарнирных соединений, требующих смазки, их износ и повышенная стоимость эксплуатации.

комплектуются из типовых узлов, позволяющих собирать горизонтально-крутонаклонные конвейеры с перегибом (с углом подъема 45, 60 и 70°).

Для перемещения взрывоопасных, легковоспламеняющихся, агрессивных материалов разработан конвейер КПС-125. Взрывобезопасность конвейера достигается применением стекловолокнистых скребков, использованием электродвигателя привода и всей электроаппаратуры во взрывозащищенном исполнении и возможностью заполнения конвейера инертным газом. В табл. 6.6 приведены технические характеристики конвейеров типа КПС Горьковского завода подъемно-транспортного оборудования, которые широко используются в технике пылеулавливания.

ТАБЛИЦА 6.6

Наименование	ТЕХНИЧЕСКИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ КОНВЕЙЕРОВ ТИПА КПС			
	Марка конвейера			
	КПС-М-200Т	КПС-М-320Т	КПС-М-500Т	КПС-М-650Т
Ширина короба, мм	200	320	500	600
Максимальный угол наклона трассы, град	15	15	15	15
Угол подъема наклонной трассы	15	15	15,30	15,30
Скорость движения цепи, м/ч	0,16; 0,2; 0,25; 0,315; 0,4	0,16; 0,2; 0,25; 0,315; 0,4	0,16; 0,2; 0,25; 0,315; 0,4	0,16; 0,2; 0,25; 0,315; 0,4
Производительность при скорости движения цепи 0,16 м/с, м ³ /ч:				
по горизонтальным участкам с холостым, до 200 °С, грузом	21	45	80	110
по участкам с максимальным наклоном с горячим, до 450 °С, грузом	7	12	28	36
Максимальная длина конвейера, м	65	50	70	60
Мощность электродвигателя в зависимости от производительности и длины конвейера, кВт	1,5—7,5	1,5—7,5	5,5—15	5,5—15

Винтовые конвейеры. Вследствие простоты конструкции винтовые конвейеры широко используются для перемещения преимущественно сухих, хорошо сыпучих неабразивных пылевидных материалов с температурой до 200 °С. Винтовые конвейеры делят на горизонтальные, наклонные и вертикальные (рис. 6.25).

Конвейер состоит из желоба 1, в котором вращается винт 2, вал которого поддерживается двумя концевыми подшипниками и промежуточными подшипниками 3. Один из концевых подшипников является

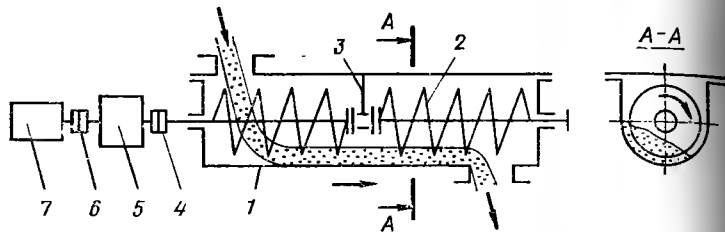


Рис. 6.25. Схема горизонтального винтового конвейера

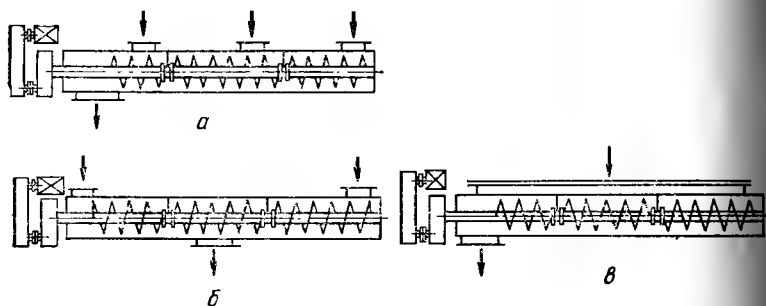


Рис. 6.26. Типы горизонтальных винтовых конвейеров

упорным, воспринимающим продольное усилие в винте. Промежуточные подшипники установлены с шагом 1,5—3,5 м. Привод конвейера включает электродвигатель 7, редуктор 5 и две муфты 4, 6.

Наклонные винтовые конвейеры по величине угла наклона делят на пологонаклонные и крутонаклонные. К пологонаклонным относятся конвейеры, угол наклона которых β не превышает угол естественного откоса транспортируемого материала α . Конвейеры крутонаклонные имеют $\beta > \alpha$.

В пылеулавливании винтовые конвейеры наиболее часто находят применение при выгрузке и транспорте на небольшие расстояния (до 60 м) пыли из бункеров рукавных фильтров и электрофильтров [114].

В практике пылетранспорта используется несколько типов шнековых конвейеров (рис. 6.26): с боковой (а) и центральной (б) выгрузкой пыли из нескольких течек бункеров; с боковой выгрузкой пыли и загрузкой через щель щелевидной формы (в). Производительность кон-

вейеров Q для различных диаметров d шнека в зависимости от скорости его вращения составляет:

d, мм	Q, м³/ч	d, мм	Q, м³/ч
315	10—25	500	20—55
400	15—30	630	30—70

Для транспортировки уловленной пыли больших объемов применяются четыре типоразмера шнековых конвейеров с диаметром винта 200, 320, 400 и 500 мм, производительностью от 4,5 до 114 м³/ч и длиной от 2 до 32 м. Техническая характеристика шнековых конвейеров приведена в табл. 6.7 и 6.8.

Смибратовским заводом газоочистительной аппаратуры для электрофильтров типа ОГП и УГТ со щелевыми бункерами изготавливаются цепные конвейеры, в которых рабочим органом служит калиброванная цепь СК 16×44 по ГОСТ 2319—70.

Конвейер применяется для пылей с большой насыпной плотностью (свыше 1100 кг/м³) и высокой температурой (до 300 °С) при обеспыливании газой печей обжига в производстве никеля, меди и свинца.

К достоинствам винтовых конвейеров относятся: надежность в эксплуатации, простота обслуживания, безопасность при транспортировании ядовитых пылящих материалов, удобство загрузки и разгрузки сыпучих материалов, компактность. Недостатками винтовых конвейеров являются повышенный расход энергии, ограниченная длина, недопустимость перегрузки при наличии подвесных подшипников. Транспортирование абразивных материалов винтовыми конвейерами приводит к быстрому износу винта и желоба, а липкая пыль замазывает винт конвейера.

ТАБЛИЦА 6.7

ОСНОВНЫЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ ШНЕКОВЫХ КОНВЕЙЕРОВ
МАШИНОСТРОИТЕЛЬНОГО ЗАВОДА «МЕТАЛЛИСТ» (г. ВОЛЬСК)

Наименование	Диаметр шнека, мм			
	200	320	400	500
Производительность при коэффициенте заполнения винта 0,3 (максимально), м³/ч	5,4	21	28	48
Шаг винта, м	0,16	0,24	0,32	0,40
Частота вращения винта, об/мин	60	60	37,5	37,5
Толщина витков винта, м	0,004	0,004	0,006	0,006
Толщина стенок желобов, м	0,003	0,003	0,004	0,004
Сечение загрузочного патрубка, м	0,2×0,2	0,2×0,3	0,4×0,4	0,5×0,5
Сечение разгрузочного патрубка, м	0,184×0,184	0,26×0,26	0,35×0,35	0,45×0,45
Масса 1 м конвейера без привода, кг	58	106	127	166
Максимальная длина конвейера, м	20	20	30	30

ТАБЛИЦА 6.8
ОСНОВНЫЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ ШНЕКОВЫХ КОНВЕЙЕРОВ БРЯНСКОГО
РЕМОНТНО-МЕХАНИЧЕСКОГО ПРЕДПРИЯТИЯ

Наименование	Диаметр шнека, мм			
	200	320	400	500
Производительность при коэффициенте наполнения винта 0,3 м³/ч	5,8	23	49	96
Шаг винта, м	0,16	0,25	0,32	0,40
Частота вращения винта, об/мин	63—65	63—65	63—65	63—65
Толщина витков винта, м	0,004	0,004	0,006	0,004
Размеры загрузочного патрубку, м	0,20×0,20	0,28×0,28	0,415× ×0,415	0,515× ×0,515
Размеры разгрузочного патрубку, м	0,18×0,18	0,28×0,28	0,36×0,36	0,44×0,44
Масса 1 м длины конвейера без привода, кг	43,6	90,0	102,0	125,0

В ряде случаев возникает необходимость подачи уловленной золы или пыли в сборные бункера или силосы. Необходимая при этом высота подъема уловленного продукта может достигать до нескольких десятков метров. В подобных случаях могут быть использованы ленточные или цепные элеваторы (табл. 6.9), пневмовинтовые насосы (табл. 6.10).

Системы для транспорта пыли

В современных крупных пылеулавливающих установках капитальные затраты на системы выгрузки и транспорта пыли составляют до 10 % от общих затрат.

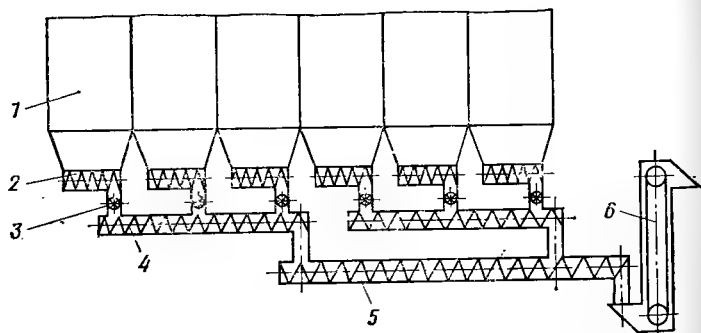


Рис. 6.27. Схема системы выгрузки и транспорта пыли, уловленной рукавным фильтром

ТАБЛИЦА 6.9
ТЕХНИЧЕСКАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА ЭЛЕВАТОРОВ

Марка элеватора	Производительность, м³/ч	Ширина ковша, мм	Емкость ковша, л	Скорость движения ковша, м/с	Высота транспортирования, м
-----------------	--------------------------	------------------	------------------	------------------------------	-----------------------------

Элеваторы ленточные

ЛК-03	5,0	160	0,35	1,30	4,9—36,2
ЛК-06	8,4	160	0,60	1,30	4,9—36,2
ЛК-250, ЛМ-250	149,8	250	21,4	1,40	До 40,0
ЛГ-320, ЛМ-320	2215,5	320	42,7	1,40	До 40,0
ЛГ-400, ЛМ-400	3926	400	6,3; 4,2	1,78	До 40,0

Элеваторы цепные

ЦГ-200	18	200	1,3	1,25	4,4—34,7
ЦО-250	22,3	250	3,6	0,50	5,0—30,0
ЦС-320	45	320	8,0	0,47	5,0—30,0
ЦС-400	75	400	16,5	0,50	5,0—38,0
ЦГТ-500С	50	500	—	0,50	39,8
ЦГТ-650С	80	650	—	0,50	39,9
ЦГТ-800С	130	800	—	0,50	40,9
ЦГТ-1000С	200	1000	—	0,50	28,5

Примечание. Элеваторы типа ЛК, ЛГ, ЛМ и ЦГ выпускает Карагандинский машиностроительный завод № 2 им. Пархоменко, а типа ЦО, ЦС и ЦГТ — Белохолунинский машиностроительный завод (Кировская обл.).

На рис. 6.27 показана механическая система выгрузки и транспорта пыли современного рукавного фильтра производительностью по газу 500000 м³/ч. Система состоит из: шести бункеров 1, шнековых конвейеров 2 диаметром 0,23 и длиной 5,5 м; шести шиловых затворов 3 с диаметром ротора 0,23 м; трех собирающих шнековых конвейеров 4, 5 диаметром 0,3 м; одного вертикального скребково-ковшового конвейера 6 высотой 12 м, разгружающего пыль в бункер-накопитель.

Система пневматического транспорта пыли имеет ряд преимуществ перед механическими системами: высокую степень герметичности, бесшумность в работе, гибкость в монтаже, относительно низкие капитальные и эксплуатационные затраты, возможность транспорта в специальных средах и на большие расстояния. Это обусловило быстрое внедрение пневмотранспорта как средства транспортирования пылевидных материалов в различные отрасли промышленности. Пневмотранспорт имеет преимущества для расстояний более 25 м по горизонтали.

По направлению перемещения материала пневмотранспорт разделяют на горизонтальный и вертикальный; по способу перемещения — на всасывающий, нагнетательный и комбинированный; по концентрации твердой фазы в потоке — на транспорт низкоконцентрированной среды (при отношении объема воздуха к объему транспортируемого материала $V_1/V_2 > 100$), транспорт среднеконцентрированной среды (при $V_1/V_2 = 25 \div 100$) и транспорт высококонцентрированной среды (при $V_1/V_2 < 25$). При транспорте высоко- и среднеконцентрированных сред ско-

рость твердых частиц в трубопроводе 0,5—20 м/с. При транспорте низкоконтрированной среды скорость твердых частиц 12—30 м/с.

Транспорт низкоконтрированных сред осуществляется при давлениях до 100 кПа. При использовании высокоскоростных воздушных потоков (30 м/с) пневмосистемы применяются для транспортирования неабразивных материалов, а также материалов, для которых разрушение частиц в процессе транспортирования не имеет значения.

Системы транспорта потоков сред средней плотности работают при давлениях до 300 кПа и используются для транспортирования сыпучих материалов на расстояние до 1200 м при производительности до 500 т/ч.

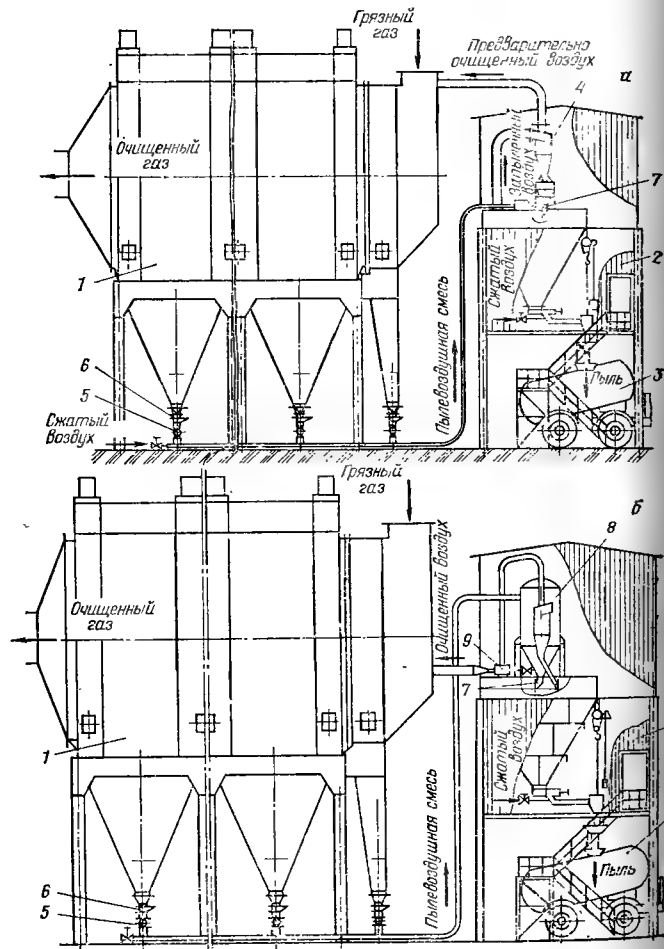


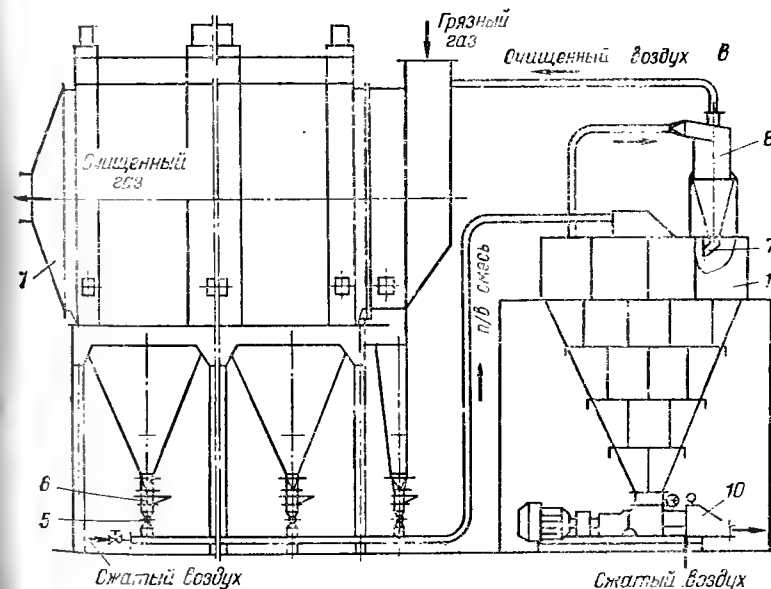
Рис. 6.28. Системы пневматической транспортировки пыли:

а — напорная; *б* — вакуумная; *в* — комбинированная; 1 — электрофильтр; 2 — за-
6 — дисковая задвижка; 7 — клапан-мгалька; 8 — пылеуловитель; 9 — эжектор;

Вертикальный пневмотранспорт чаще всего используется в системах скоростного транспортирования сред малой плотности. Максимальная скорость транспортирования выбирается, исходя из условий обеспечения минимальных энергетических затрат, эрозии трубопроводов и истирания транспортируемого материала. Вертикальный пневмотранспорт при потоке высокой плотности используется реже из-за неустойчивости режимных параметров такого транспорта, высоких энергетических затрат, вибрации трубопроводов.

Для пневматической транспортировки пыли в установках рукавных фильтров и электрофильтров могут быть применены напорная (рис. 6.28, *а*), вакуумная (*б*) или комбинированная (*в*) системы [2, 118]. Напорная система в свою очередь подразделяется на высоконапорную и низконапорную.

Высоконапорная система характеризуется высокой концентрацией пылевоздушной смеси (до 200 кг/кг) и более высокой экономичностью. Высокая концентрация обуславливает повышение сопротивления транспортной трассы движению пылевоздушной смеси, а следовательно, для его преодоления требуется установка воздуходувных машин высокого давления. Практически высоконапорные системы в зависимости от длины и конфигурации трассы работают с давлением в пределах 0,3—0,6 МПа. Высоконапорная система может быть наиболее эффективно использована при транспортировке пыли на расстояние от 150 до 1000 м. При транспортировке на расстояние свыше 1000 м требуется установка перегрузочных станций, что значительно удорожает стоимость системы. Выпускаемое в настоящее время отечественными предприятиями оборудование позволяет транспортировать материал с температурой до



грузочная установка; 3 — автотранспорт; 4 — циклон; 5 — шлюзовый питатель; 10 — пневмовинтовой насос; 11 — бункер

ТАБЛИЦА 6.10

ТЕХНИЧЕСКАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА ПНЕВМОВИНТОВЫХ НАСОСОВ

Наименование	Марка насоса				
	НПВ-63-2	НПВ-36-4	НПВ-110-2	НПВ-63-4	ТА-14А
Производительность по пыли с насыпной плотностью 1,25 т/м³, т/ч	63	36	110	63	36
Приведенная длина пылепровода (не более), м	200	400	200	400	200
В том числе по вертикали, м	30	30	30	30	30
Давление сжатого воздуха, МПа	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4
Расход сжатого воздуха, м³/мин	22	25	38	41	15
Диаметр пылепровода, мм	175	175	250	250	140
Расход воды на охлаждение, т/ч	4	4	4	4	—
Мощность привода, кВт	55	132	100	132	30
Масса, кг	2150	2252	2940	3030	980
Габаритные размеры, мм:					
длина	4130	4182	4405	—	3450
ширина	660	660	700	—	640
высота	900	900	940	—	870

Примечание. Насосы типа НПВ выпускает Красногорский завод цементного машиностроения, а типа ТА-14А — Ленинградский завод строительных машин.

150 °С. Производительность высоконапорных систем колеблется от 30 до 125 м³/ч. Высоконапорная система предпочтительна при транспортировке из одного в несколько мест и может применяться как при непрерывной, так и при периодической транспортировке.

В качестве транспортирующих устройств применяются пневмовинтовые и камерные насосы. Эти насосы предназначены для подачи цемента, однако хорошо себя зарекомендовали при работе с пылями.

Конструктивно пневматический винтовой насос устроен аналогично ленте с пылевой пробкой (рис. 6.29) и отличается в основном тем, что к выгрузочному патрубку шнека подведен сжатый воздух, который аэрирует и транспортирует материал. Пневматические винтовые насосы изготавливают Красногорский завод цементного машиностроения (насосы НПВ) и Ленинградский завод строительных машин (насосы ТА-14А). Технические характеристики этих насосов при транспорте цемента с объемной массой 1,2 т/м³ приведены в табл. 6.10.

На рис. 6.30 изображена схема установки двухкамерного пневматического насоса с верхней выдачей материала, изготавливаемого Красногорским заводом цементного машиностроения (насосы ТА-28 и ТА-29). Насос представляет две цилиндрические емкости, которые после-

довательно заполняются материалом, герметизируются и выгружаются сжатым воздухом. Система насоса обеспечивает автоматический режим работы с контролем процесса на пульте управления. Технические характеристики камерных насосов приведены в табл. 6.11.

Низконапорная система характеризуется относительно низкой концентрацией материаловоздушной смеси (до 5 кг/кг) и низким сопротивлением транспортной трассы движению материаловоздушной смеси. Наиболее эффективно низконапорная система работает при подаче материала на 50—100 м. Эта система, так же как и высоконапорная, может транспортировать материал с высокой температурой. Преимуществами

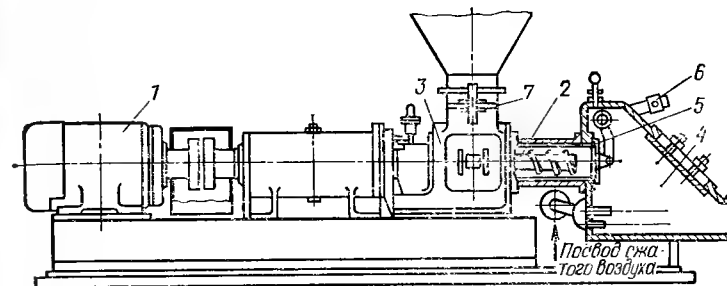


Рис. 6.29. Пневматический винтовой насос:

1 — привод; 2 — шнек; 3 — приемная камера; 4 — смесительная камера; 5 — клапан; 6 — рычаг с грузом; 7 — затвор

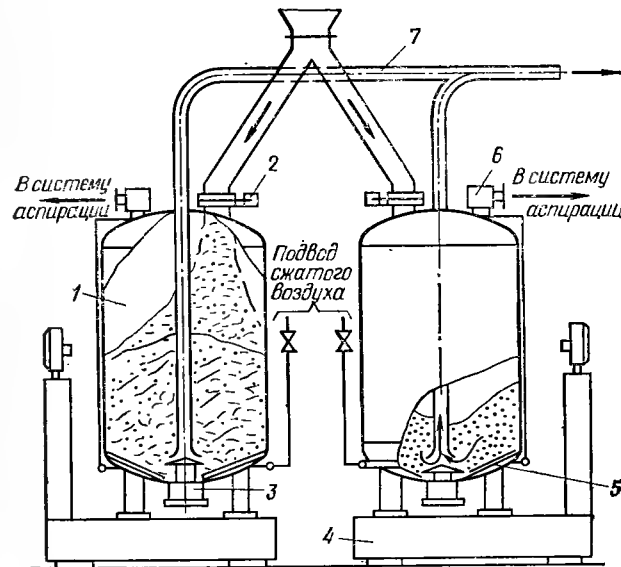


Рис. 6.30. Камерный пневматический насос:

1 — камера; 2 — загрузочный клапан; 3 — разгрузочный клапан; 4 — весовое устройство; 5 — аэрационные элементы; 6 — аспирационный клапан; 7 — транспортный трубопровод

ТАБЛИЦА 6.11

ТЕХНИЧЕСКИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ КАМЕРНЫХ ПНЕВМАТИЧЕСКИХ НАСОСОВ ТИПА ТА-14А, ТА-28 И ТА-29 КРАСНОГОРСКОГО ЗАВОДА

Показатели	ТА-14А	ТА-28	ТА-29
Производительность по цементу с плотностью 1,25 т/м ³ , т/ч	36	100	60
Дальность подачи (приведенная), м	≤ 200	≤ 1000	≤ 1000
В том числе по высоте	30	50	50
Давление сжатого воздуха, МПа	0,2	0,6	0,6
Расход сжатого воздуха, м ³ /мин	15	100	75
Масса насоса, кг	980	17000	7000
Габариты, мм:			
длина	3450	6000	3770
ширина	640	3700	3350
высота	870	5500	4190

системы являются простота конструкции, малые габариты оборудования и удобство обслуживания. К общим недостаткам низконапорных систем следует отнести потребление значительного количества сжатого воздуха при транспортировке на расстояние свыше 50 м. В качестве подающих устройств низконапорных систем служат инжекционно-смесительные устройства и струйные насосы, использующие сжатый воздух от заводской сети.

Одной из разновидностей низконапорной системы является система (см. рис. 6.28, а), включающая транспортный трубопровод, проходную насадку и шлюзовый питатель-дозатор. Преимуществом этой системы является возможность создания относительно высокого давления в транспортном трубопроводе (до 0,12 МПа) и, как следствие, повышение концентрации пылевоздушной смеси при дальности транспортировки до 80—100 м, что наиболее приемлемо при современных компоновочных решениях газоочистных установок.

Вакуумная система применяется для пневматической транспортировки различных материалов на расстояние до 100 м с концентрацией материалов до 40 кг/кг. Система может транспортировать материал с температурой до 300 °С. Вакуумная система позволяет собирать материал из большого числа мест и подавать его по общему трубопроводу в сборный бункер с осадительной станцией. Производительность таких систем достигает 50 м³/ч.

Вакуумная система, где в качестве отсасывающей установки применен эжектор, приведена на рис. 6.28, б. Основными элементами схемы являются питатели, пневмотрубопроводы, осадительные устройства и отсасывающая установка. Материал из бункеров электрофильтров через шлюзовый питатель поступает в проходную насадку. Одновременно в насадку под влиянием разрежения в системе, создаваемого эжектором, всасывается атмосферный воздух, который подхватывает подаваемый в насадку материал и транспортирует его по трубопроводу в пылеуловитель. Очищенный от взвешенных частиц в пылеуловителе воздух

отсасывается эжектором и по трубопроводу выбрасывается в атмосферу либо подается на вход электрофильтра. Но такой же схеме, но с вакуумными насосами вместо эжекторов успешно работают системы пневмотранспорта пыли, уловленной в электрофильтрах [115].

Пневматический транспорт благодаря ряду преимуществ по сравнению с другими видами транспорта сыпучих материалов находит широкое применение для транспортировки пыли, уловленной в электрофильтрах в цементной, огнеупорной промышленности, металлургии.

По сравнению с механическим основные преимущества пневматического транспорта заключаются в следующем: сравнительно простое обслуживание и управление, возможность полной автоматизации, что позволяет сократить численность обслуживающего персонала; герметичность системы, что исключает потери материала и создает благоприятные санитарные и гигиенические условия труда на рабочих местах; простота конструкции и компактность; хорошее сочетание с технологическими операциями, например с подачей материала в печи, топки и т. д. Основным недостатком пневматического транспорта является высокий удельный расход электроэнергии перемещаемого материала.

С учетом преимуществ и недостатков механического и пневматического транспорта разработаны и применяются различные комбинированные и смешанные системы транспортировки.

Комбинированные и смешанные системы применяются при транспортировке материала из многих мест на расстояние свыше 100 м. В этих случаях материал может собираться низконапорной или вакуумной системой в одну точку для последующей транспортировки при помощи высоконапорной системы на большие расстояния (см. рис. 6.28, в).

Смешанный транспорт (рис. 6.31), так же как и комбинированные системы, применяется при транспортировке материала на расстояние свыше 100 м. В этих случаях материал собирается механическими средствами транспортировки в одну точку, а затем при помощи высоконапорной системы транспортируется на большие расстояния.

Применение комбинированной и смешанной систем позволяет использовать преимущества сравнительно простых систем, сократить количество устанавливаемого оборудования и снизить эксплуатационные расходы.

При необходимости вывоза уловленной в электрофильтрах пыли для утилизации в другом производстве, расположенном на значительном расстоянии от места сбора пыли, или в случае вывоза пыли в отвал в последнее время широко применяется автомобильный транспорт, оборудованный специальными емкостями типа цистерн автоцементовозов. В этом случае пыль с установок электрофильтров направляется в сборный бункер загрузочной установки.

Загрузочная установка. Для загрузки пылевидных материалов в специальные средства транспорта Гипрогазоочисткой применяется установка, представленная на рис. 6.32. При этом обеспечивается соблюдение допустимых норм запыленности и исключаются потери загружаемого материала. Установка состоит из бункера-наполнителя материала, раз-

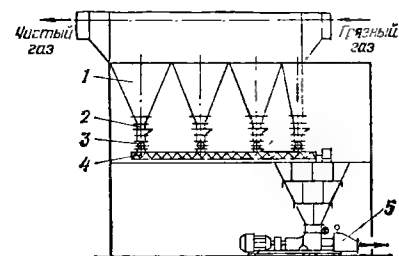


Рис. 6.31. Смешанный транспорт пыли:

1 — бункер; 2 — дисковая задвижка; 3 — шлюзовый питатель; 4 — винтовой конвейер; 5 — пневмовинтовой затвор

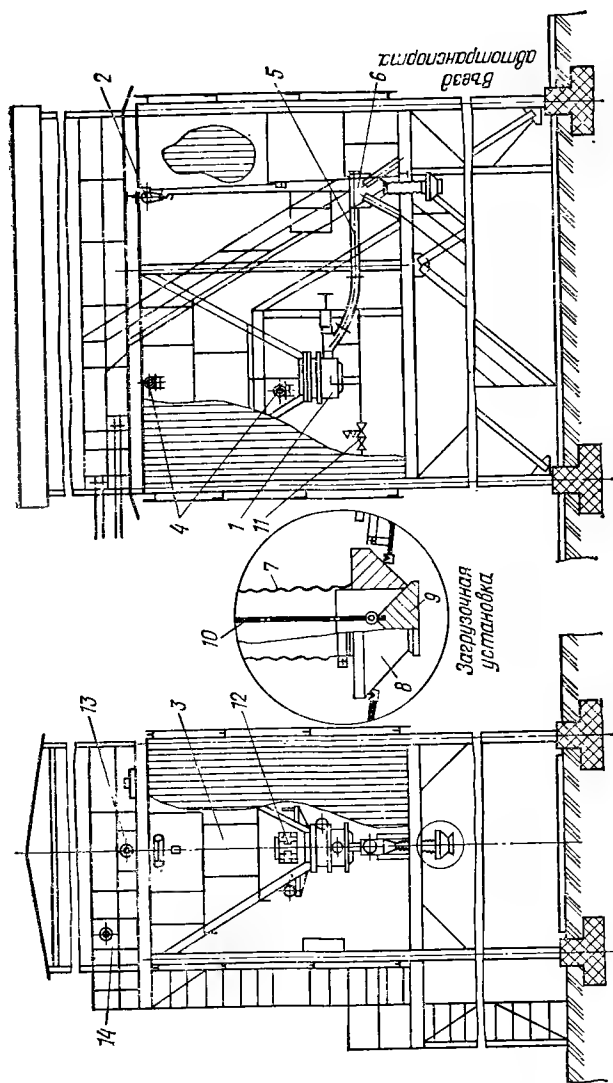


Рис. 6.32. Загрузочная установка:

1 — донный разгрузочный; 2 — таль электрическая; 3 — бункер-накопитель; 4 — сигнализатор уровня; 5 — транспортный трубопровод; 6 — рукав лассановый; 7 — конус направляющий; 8 — конус направляющий; 9 — конус направляющий; 10 — канат; 11 — вентиль запорный; 12 — люк загрузочный; 13 — коробка разгрузочная; 14 — коробка разгрузочная

грузочно-дозировочного узла, транспортного трубопровода и загрузочного устройства, монтируемых в двухэтажном здании, первый этаж которого предназначен для въезда транспортных средств.

Управление процессом загрузки осуществляет оператор с пульта управления. Бункер может быть оборудован сигнализаторами уровня, обеспечивающими возможность автоматизации процесса загрузки.

Процесс загрузки осуществляется следующим образом: после подачи автомашин под загрузку оператор при помощи электрической тали опускает загрузочное устройство на люк автоцементовоза и, убедившись в правильной посадке направляющего конуса, наличии пыли в бункере (по верхнему контролируемому уровню) и наличии сжатого воздуха в системе (по показанию контрольного манометра), подает воздух в донный разгрузочный. После непродолжительной подачи воздуха

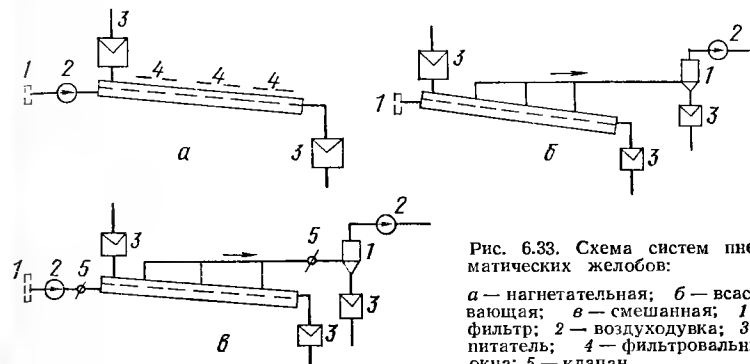


Рис. 6.33. Схема систем пневматических желобов:

а — нагнетательная; б — всасывающая; 1 — смешанная; 2 — фильтр; 3 — воздушная; 4 — питатель; 5 — клапан

через аэрационную плиту донного разгрузочного в бункер (с целью предотвращения зависания пыли) оператор открывает разгрузочный клапан донного разгрузочного и пылевоздушная смесь по трубопроводу и загрузочному устройству поступает в автоцементовоз. Воздух, поступающий с пылевоздушной смесью и вытесняемый из емкости автоцементовоза, через загрузочный рукав из фильтровальной ткани выходит в атмосферу. Сигнализация прекращения загрузки производится по достижении нижнего уровня пыли в накопительном бункере. После завершения загрузочного цикла оператор перекрывает затвор донного разгрузочного, прекращает подачу сжатого воздуха и поднимает загрузочное устройство в верхнее крайнее положение. Готовность установки к следующему загрузочному циклу определяется по достижению верхнего контролируемого уровня [115]. Донный разгрузочный, применяемый в загрузочной установке, изготавливает Новороссийский машиностроительный завод «Молот».

Транспортные желоба являются простейшим видом устройств горизонтального транспортирования пыли. Такие желоба могут перемещать большие объемы материалов при сравнительно небольших расходах воздуха. Полость транспортного желоба разделена продольной пористой перегородкой. Через перегородку и слой материала на ней фильтруется газовый поток, псевдосжижает этот слой, приводя его в состояние текучести. Благодаря достигаемой при этом высокой подвижности материала движение его в желобе возможно при уклоне всего 0,04—0,05.

К достоинствам транспортного желоба относятся простота конструкции и дешевизна, отсутствие движущихся изнашивающихся деталей,

малый расход энергии, большая производительность при малых габаритах, простота монтажа и регулировки. Схемы используемых на практике систем транспортирующих желобов представлены на рис. 6.33. Как показала практика эксплуатации, наиболее надежно работают транспортные желоба, выполненные по смешанной схеме.

К недостаткам транспортных желобов, ограничивающих область их применения, следует отнести необходимость придания им наклона, а также ограничения по характеру и температуре перемещаемых грузов. В пневматических транспортных желобах можно транспортировать только сухие неомокающиеся материалы. Ограничения по температуре обусловлены термостойкими свойствами фильтровального материала, из которого выполнена пористая перегородка. Например, на Прибалтийской ГРЭС в аэрожелобах, транспортирующих уловленную электрофильтрами золу, используются перегородки, выполненные из шестислойной хлопчатобумажной ленты. В условиях повышенной температуры транспортируемой золы (150—200 °С) срок службы таких перегородок невелик и составляет 2—3 мес. Ткань выгорает, становится ломкой и теряет свои фильтрующие свойства.

В связи с этим целесообразно применять в качестве воздухопроницаемого материала ткани ТЛФ-5 и ТЛФТ-5Ц. Исследования показали, что срок службы таких перегородок в несколько раз выше, чем у используемой хлопчатобумажной ленты [116].

Для транспорта пылей обжига ртутьсодержащих руд с температурой 200—250 °С, улавливаемых рукавным фильтром на Краснодарском руднике Никитовского ртутного комбината, внедрен разработанный НИИОгазом аэрожелоб, оснащенный пористой перегородкой из стеклоткани ТСФ (7А)-9П [117]. Промышленный аэрожелоб выполнен из восьми секций, имеющих длину 2 и ширину 0,08 м. Устойчивый транспорт пыли обеспечивается при следующих параметрах воздуха, подаваемого под пористую перегородку: нагрузка 2,5 м³/м² мин; перепад давления 4,0 кПа.

Показана возможность эффективного пневмотранспорта пыли, уловленной циклонами дробебетонной камеры, с помощью аэрожелоба, смонтированного по нагнетательно-отсасывающей схеме (см. рис. 6.33, в). Устойчивое движение пыли по перегородке, выполненной из ткани ТЛФТ-5Ц, наблюдается при гидравлическом сопротивлении перегородки 5 кПа [118].

Продолжаются работы по усовершенствованию конструкции аэрожелоба. В ФРГ разработана конструкция пневматического желоба, в котором соединительные элементы выполнены в виде фасонных деталей, упрощающих сборку желоба [28].

В аэрожелобах, перемещающих большие объемы пылевидных материалов, часто возникают трудности, связанные с работой разгонного участка. Для исключения накопления пыли в этом участке в одной из конструкций предусмотрена подвижная поперечная перегородка, установленная над разгонным участком и имеющая форму последнего (рис. 6.34). Воздух, подаваемый под транспортирующую перегородку 1 (рис. 6.34), через патрубок 2 и над передвижной перегородкой 3 через байпас 4, проходит через перегородки в короб 5 и интенсифицирует процесс транспортирования пыли, не позволяя ей оседать на разгонном участке.

Гидротранспорт уловленной пыли

Уловленная пыль из бункеров мокрых пылеуловителей удаляется в виде пульпы. Для аппаратов небольшой производительности для удаления пульпы применяются скребковые и элеваторные транспортеры. На

рис. 6.35 представлена схема удаления шлама из мокрого пылеуловителя производительностью по газу 10000 м³/ч. Система транспортирования пыли состоит из винтового транспортера, размещенного в бункере, и вертикального скребкового транспортера, по которому шлам посредством тягового органа (замкнутой цепи и привода) перемещается в контейнеры. Вертикальный скребковый транспортер одновременно служит гидрозатвором: из контейнера шлам выгружается в специальные емкости и возвращается в производство или складывается в отвалах.

В мокрых аппаратах большой производительности пульпа удаляется посредством системы гидравлического транспортирования, в которой смесь твердых частиц и воды перемещается по трубам или желобам.

Гидравлические транспортные установки подразделяются на напорные, в которых пульпа перемещается за счет насосов, и безнапорные, в которых

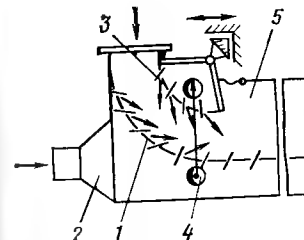


Рис. 6.34. Схема пневматического желоба с подвижной перегородкой

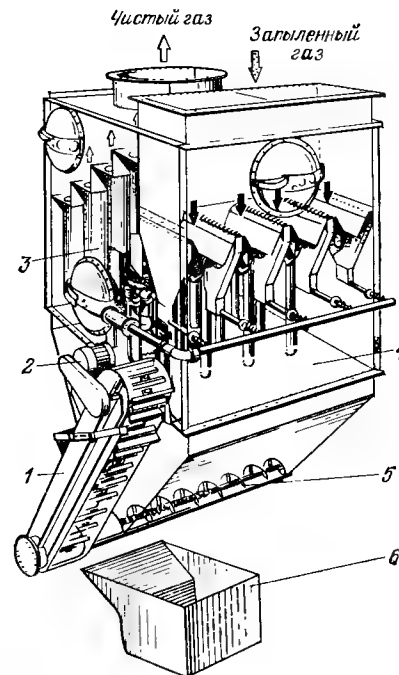


Рис. 6.35. Мокрый пылеуловитель с устройством для удаления шлама:

1 — скребковый транспортер; 2 — привод; 3 — шлам; 4 — корпус аппарата; 5 — шнек; 6 — контейнер

пульпа перемещается самотеком по желобам или трубам за счет собственной силы тяжести.

На рис. 6.36 представлена гидротранспортная установка с пульпо-насосом. Пульпа подается в резервуар, откуда она извлекается пульпо-насосом и по пульпопроводу подается на грохот, где пыль отделяется от воды и по наклонным решеткам поступает в приемный бункер. Вода, отделившаяся от твердых частиц, через воронку стекает в резервуар и затем насосом подается по трубопроводу в резервуар, где снова смешивается с пульпой. Уловленная пыль погружается в передвижные емкости и транспортируется в места утилизации. Производительность гидротранспортных установок рассчитывается, исходя из рабочей скорости пульпы и диаметра трубопровода. Расход пульпы V , м³/ч, равен:

$$V = Q / \rho_{\text{ч}} \mu_{\text{об}},$$

где Q — производительность установки, т/ч; $\mu_{\text{об}} = 0,14 \div 0,25$ — объемная концентрация пульпы; $\rho_{\text{ч}}$ — плотность частиц груза, т/м³.

Расход энергии пульпонасоса N , кВт, рассчитывается по формуле

$$N = 3600 H V \eta,$$

где η — к. п. д. насосной установки, равный 0,38—0,60; H — напор пульпы, кПа; V — расход пульпы, м³/ч.

Гидротранспортирование уловленной пыли нашло широкое применение, в частности в черной металлургии, для удаления пульпы от си-

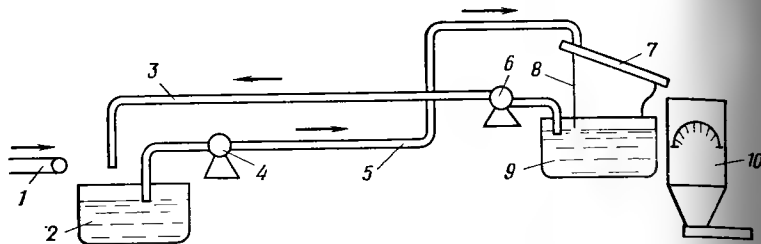


Рис. 6.36. Гидротранспортная установка с пульпонасосом:

1 — подача пульпы; 2 — резервуар с пульпой; 3 — трубопровод; 4 — пульпонасос; 5 — пульпопровод; 6 — насос; 7 — грохот; 8 — воронка; 9 — резервуар; 10 — приемный бункер

стем газоочистки доменных, мартеновских, электросталеплавильных печей. Челябингипромет при участии Сибирского филиала ГПИ «Сантехпроект» разработал и внедрил на Челябинском металлургическом комбинате (ЧМК) объединенный оборотный цикл водоснабжения установок газоочистки доменного и сталеплавильного цехов [16].

Особенностью объединенного оборотного цикла водоснабжения систем газоочистки является совместное осветление шламовых стоков на радиальных отстойниках доменных, электросталеплавильных и мартеновских печей, что при сохранении эффективности очистки и осветления стоков позволяет повысить удельные гидравлические нагрузки на радиальные отстойники в 1,5—2 раза; производительность составляет 6200 м³/ч. В процессе эксплуатации такого цикла водоснабжения в доменном, электросталеплавильном и мартеновском цехах ЧМК были достигнуты высокие технико-экономические показатели. Применение совместного оборотного цикла позволило в 1,5 раза сократить площадь застройки, снизить на 25 % капитальные затраты и на столько же металлоемкость сооружений, одновременно уменьшив на 20 % эксплуатационные расходы.

Система объединенного оборотного цикла состоит из радиальных отстойников диаметром 30 м, насосной станции из четырех групп насосов, трех секционных вентиляторных градирен брызгального типа, установки для стабилизации воды, двух шламовых насосных станций, распределительных и смесительных камер и систем лотков и трубопроводов (рис. 6.37).

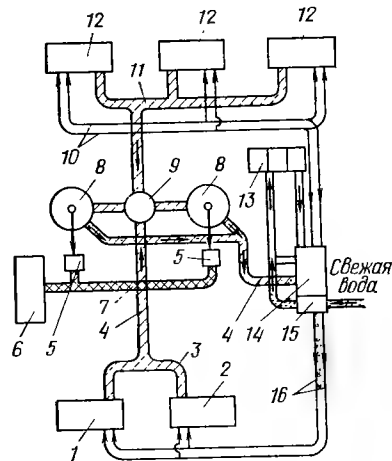
Пульпа от установок газоочистки доменных печей, электросталеплавильного и мартеновского цехов самотеком поступает в распределительные камеры, а затем на радиальные отстойники для осветления от взвешенных веществ. Эффективность использования совмещенной оборотной

системы водоснабжения составляет 85 %. Содержание взвешенных веществ в осветленной воде оборотного цикла в среднем не превышает 200 мг/л (первоначальная концентрация 1350 мг/л) при значении pH не более 8,5.

Даже при использовании мазута в качестве топлива мартеновских печей объединенный оборотный цикл водоснабжения системы газоочистки устойчиво работает за счет щелочного резерва стоков доменного цеха. При этом не наблюдается значительного отложения солей на стен-

Рис. 6.37. Схема объединенного оборотного цикла водоснабжения доменного и сталеплавильного цехов металлургического комбината:

1 — система газоочистки электросталеплавильного цеха; 2 — система газоочистки мартеновского цеха; 3, 4, 11 — самотечные лотки, каналы и трубопроводы; 5 — шламовые насосы; 6 — отделение утилизации; 7 — напорные шламопроводы на отделение утилизации шлама; 8 — радиальные отстойники; 9 — распределительная камера; 10, 16 — напорные трубопроводы на эстакадах; 12 — доменная газоочистка; 13 — вентиляторные градирни брызгального типа; 14 — совмещенная насосная с установкой стабилизации; 15 — отделение стабилизации



ках трубопроводов, а также коррозии трубопроводов и оборудования.

Уловленная пыль загружается в вагоны и направляется в агломерационное производство в качестве составляющей части шихты.

Гидравлический транспорт пыли применяется в основном для перемещения пыли в виде шлама от аппаратов мокрой очистки газов и в отдельных случаях — от аппаратов сухой очистки, например электрофильтров. Система гидротранспорта состоит из большого количества трубопроводов, желобов, отстойников; требует большого оборота воды. В настоящее время гидротранспорт больших объемов пыли применяется только на металлургических заводах.

В связи с тем, что в перспективе аппараты мокрой очистки газов должны постепенно заменяться аппаратами сухой очистки газов, удельный вес систем гидротранспортирования уловленной пыли на промышленных предприятиях должен соответственно уменьшаться. Применение скребковых или цепных аппаратов, погруженных в воду для удаления пыли от газоочистных аппаратов, снижает энергозатраты и расход воды в сравнении с гидротранспортом.

6.4. ЭКСПЛУАТАЦИЯ СИСТЕМ ПЫЛЕТРАНСПОРТА

Производительность пылевого затвора должна обеспечивать немедленный вывод всей пыли, попавшей в бункер. Для надежной работы бункера необходимо, чтобы угол наклона стенок превышал угол естественного откоса пыли. В системах пылеулавливания угол наклона стенок

бункера обычно равен 60° , что значительно превышает угол естественного откоса для большинства пылей.

Нарушения работы бункеров в этих условиях возможны из-за нарастания отложений пыли на стенках вследствие высокой степени адгезии, конденсации влаги, схватывания. Отложения сужают просвет выпускного отверстия и уменьшают его пропускную способность, в результате чего в бункере начинается накопление пыли. Если ширина выпускного отверстия меньше некоторого критического значения, то при выгрузке накопленной пыли над выпускным отверстием образуется свод или труба, которые препятствуют дальнейшему истечению пыли (рис. 6.38).
Образование сводов и труб над выпускным отверстием зависит от следующих нижеприведенных параметров.

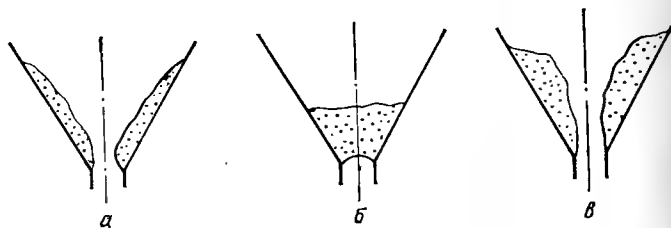


Рис. 6.38. Виды нарушений работы бункера:

а — наросты на стенках; б — образование сводов над выпускным отверстием;
в — образование труб над выпускным отверстием

Адгезионная способность пыли увеличивает прочность пылевой массы. Высокая степень адгезии характерна для увлажненных и содержащих липкие вещества пылей.

Внутреннее трение препятствует пластическому деформированию, т. е. течению пылевой массы. Повышенное внутреннее трение характерно для грубодисперсных пылей с неправильной анизометричной формой частиц: древесной, асбестовой, хлопковой, зерновой, шерстяной пыли, пыли аспирации наждачных станков.

Схватывание пыли происходит в результате образования твердых мостиков между частицами вследствие химических реакций, например гидратации.

Слеживание пыли приводит к упрочнению пылевой массы в результате образования твердых мостиков между частицами вследствие раскристаллизации и взаимной диффузии вещества частиц в зоне контакта. Слеживание развивается при хранении пыли в неподвижном состоянии, особенно при колебаниях влажности.

Объемная плотность пыли определяет величину давления пылевой массы на свод или трубу. Рыхлые тонкодисперсные пыли могут образовывать своды из-за своего малого веса, не обладая при этом повышенной слипаемостью или внутренним трением. Такие своды легко разрушаются внешними воздействиями.

Время пребывания пыли в бункере влияет на ее текучесть и прочность. Обычно пыль, попадающая в бункер, обладает электрическим зарядом и течет подобно жидкости. После самоуплотнения под действием собственного веса и остывания пылевая масса упрочняется и теряет текучесть [2].

Конденсация влаги в пыли обычно возникает при охлаждении в результате отвода тепла через стенки бункера. На стенках нарастают прочные, трудноудаляемые отложения влажной или «схватившейся» пыли.

Трудности при опорожнении бункеров встречаются во многих производствах, связанных с применением и переработкой сыпучих и порошкообразных материалов. Одним из наиболее эффективных способов борьбы со сводообразованием в пылеулавливающих является вибраторный.

Для уменьшения износа криволинейных участков пневматического транспорта пыли применяются различные устройства, в которых используется принцип воздушной подушки (рис. 6.39).

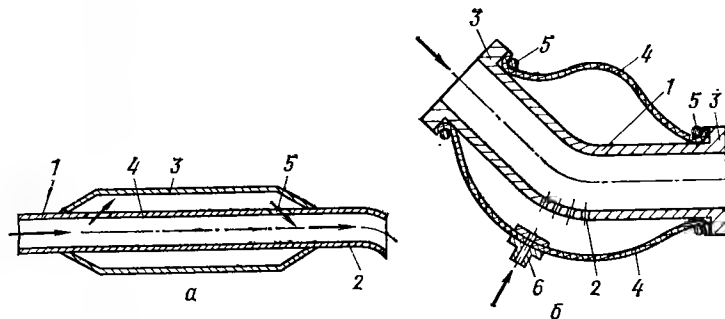


Рис. 6.39. Защита пневмотранспортных трубопроводов от абразивного износа: а — с помощью байпасного перепуска воздуха; б — сжатым воздухом

Пневмотранспортный трубопровод (см. рис. 6.39, а) включает прямой участок 1 и криволинейный участок 2. На участке 1 трубопровода перед участком 2 установлена перепускная камера 3, соединенная непосредственно с участком 1 трубопровода отверстием 4 для вывода части транспортирующего воздуха и отверстием 5 для ввода этого воздуха перед участком 2 под углом к основному потоку.

При прохождении аэроэлемента через участок 1 трубопровода, на котором установлена камера 3, сжатый воздух, который перемещается преимущественно в верхней части сечения трубопровода, через отверстие 4 для вывода воздуха попадает в перепускную камеру 3 и из нее через отверстие 5 на внешнюю стенку участка 2. При этом образуется воздушная прослойка между потоком транспортируемого материала и внешней стенкой участка 2 трубопровода. Прослойка позволяет избежать местных отрывов потока транспортирующего воздуха и отнесает транспортируемый материал от внешней стенки криволинейного участка 2 трубопровода.

На рис. 6.39, б показан другой вариант устройства для защиты поворотных участков трубопроводов от износа [119]. На поворотном участке трубопровода предусмотрены: криволинейный патрубок 1, на внешней стороне которого выполнены отверстия 2 в местах повышенного давления потока материала; присоединительные фланцы 3, служащие для соединения его с материалопроводом; герметичный кожух 4, выполненный из эластичного материала, герметизированный зажимами 5 и имеющий патрубок 6 для подачи сжатого воздуха.

Устройство работает следующим образом. Сыпучий материал проходит через криволинейный патрубок 1 под давлением сжатого воздуха или самотеком. В полость между герметичным кожухом 4 и патрубком 1 подается сжатый воздух от источника давления через патрубок 6 и накапливается в образующейся полости за счет упругих свойств и малой величины отверстий 2. Сжатый воздух проходит через отверстия 2 и встречается с потоком сыпучего материала, притормаживая и изменяя направление его движения.

6.5. ИСПОЛЬЗОВАНИЕ УЛОВЕННОЙ ЗОЛЫ И ПЫЛИ

Зола тепловых электростанций (ТЭС) находит широкое применение при изготовлении строительных материалов — вяжущих материалов (прежде всего цемента), кирпича, бетонных камней, аглопорита и керамзита, безобжигового и обжигового зольного гравия, заполнителей для бетона и асфальтобетона (рис. 6.40).

Промышленные пыли используются в основном в технологическом процессе для повторного обжига или переработки. Цементная пыль используется в качестве удобрений.

Применение золы в производстве строительных материалов

В 1980 г. в цементной промышленности СССР было использовано около 1 млн. т золы ТЭС; к 1985 г. объем утилизации золы достиг 1,7 млн. т [120].

Производство портландцемента. Золы ТЭС, применяемые для изготовления вяжущих веществ, в том числе портландцемента, делятся на три группы: высококальциевые низкосульфатные золы (содержание CaO более 20 и SO_3 до 5 %) от пылевидного сжигания углей и горючих сланцев; высококальциевые сульфатные золы (содержание SO_3 более 5 %) от пылевидного сжигания главным образом горючих сланцев; низкокальциевые золы от пылевидного сжигания антрацита, каменного и бурого углей.

На Ангарском цементно-горном комбинате золу Иркутской ТЭС в количестве около 300 тыс. т в год успешно применяют в качестве алюмосиликатного компонента сырьевой смеси, полностью заменяющего глину. Кроме того, примерно 100 тыс. т золы употребляют в качестве активной минеральной добавки, в результате чего удельный расход топлива на обжиг 1 т клинкера снижается на 30 кг.

Добавка золы Ангренской ТЭС при помоле клинкера на Навоийском цементном заводе позволила улучшить его качество и уменьшить расход топлива на 2—3 кг/т клинкера [121].

Применение в качестве сырьевого компонента при изготовлении портландцемента высококальциевых зол бурых углей Канско-Ачинского бассейна с содержанием оксида кальция 20—45 %, представляющих собой недостаточно обожженный цементный клинкер, дает возможность значительно уменьшить расход топлива.

Положительные результаты получены также при использовании золы-уноса и золошлаковой смеси отвалов ТЭС, сжигающих донецкие угли [121]. Так, на цементном заводе «Первомайский» по технологии, разработанной Южгипроцементом, золошлаковые отходы Кураховской ГРЭС применяли в качестве составной части сырьевой смеси клинкера в печах с конвейерными калыципаторами.

Золу применяют в качестве активной минеральной добавки в производстве портландцемента [122]. С учетом области использования в

портландцементы можно вводить от 20 до 40 % золы, а в кладочные цементы — до 50 %. В качестве добавки к цементу употребляют сухую и гидросудаемую золу текущего выхода, а также золошлаковую смесь из отвалов ТЭС.

На Здолбуновском цементно-шиферном комбинате в 1981 г. в качестве активной минеральной добавки было использовано 22 тыс. т золы-уноса Бурыштынской ГРЭС, что позволило сэкономить 38 тыс. руб. и 0,7 млн. кВт·ч электроэнергии [123].

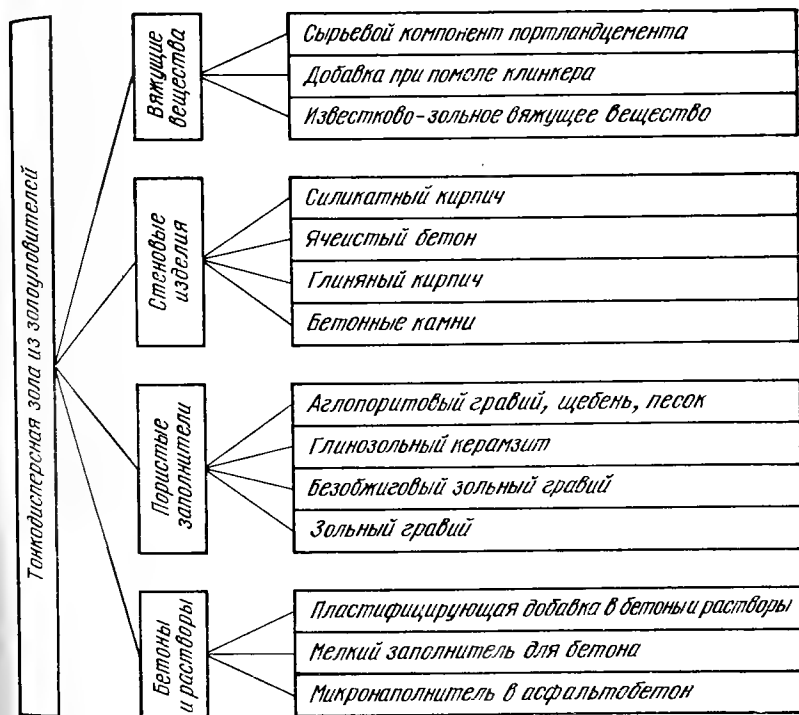


Рис. 6.40. Схема использования золы ТЭС в производстве строительных материалов

Экономический эффект по приведенным затратам в расчете на 1 т золы, применяемой в качестве добавки при помоле цементного клинкера, составляет 0,7—1 руб. [124].

При изготовлении вяжущих материалов особенно эффективно использование зол с высоким содержанием CaO , в частности зол от сжигания горючих сланцев прибалтийских месторождений. Опыт комплексного использования золы горючих сланцев накоплен на Сланцевом цементном заводе. Зола батарейных циклонов обладает дисперсностью, аналогичной дисперсности сырьевой муки, что позволяет направлять ее без помола непосредственно в смесительные силосы шахты. В результате снижается удельный расход топлива и электроэнергии на приготовление сырьевой муки. На заводе ежегодно потребляется 35—40 тыс. т такой

зола. Кроме того, при помоле цемента марки 300 используется 30—35 тыс. т золы из отвалов. По составу эта зола близка к золе мультциклонов, но отличается более высокой влажностью. Благодаря широкому использованию отходов переработки горючих сланцев расход условного топлива снижен со 165 кг/т клинкера в 1966 г. до 133 кг/т в 1981 г. [125].

При организации производства сланцезольного портландцемента на цементных заводах дополнительно устанавливают помольные агрегаты и емкости для цемента, так как при использовании портландцементного клинкера и золы-уноса в количестве соответственно 25—80 и 20—25 % выход вяжущего увеличивается на 15—20 % (по массе).

С 1962 г. производство сланцезольного портландцемента организовано на цементном заводе «Пунане Кунда» в Эстонской ССР. Ежегодно здесь выпускается около 300 тыс. т сланцезольного портландцемента марок 550 и 600, в котором около 28 % клинкера заменено сланцевой золой. С использованием этого цемента построены различные сооружения, в частности таллинская телевизионная башня высотой 330 м.

Производство бетонов и растворов. Зола-унос применяется при изготовлении различных видов бетонов. В СССР объем использования золы в качестве мелкого заполнителя и для замены части цемента при приготовлении бетонных смесей и растворов составляет около 2 млн. т в год.

По данным НИИкерамзита и объединения «Союзжелезобетон», применение зол отвалов вместо песка в керамзитобетоне приводит к снижению расхода керамзита и цемента на 15—20 %; при этом бетоны марок 75 и 200 отличаются высокой морозостойкостью. Коррозия арматуры керамзитобетона марки 200 плотной структуры не наблюдается.

Себестоимость 1 м³ цементного раствора с добавкой золы снижается на 0,4—4,0 руб., 1 м³ тяжелого бетона — на 0,35—3,0 руб. В результате замены гранитного щебня золошлаковой смесью себестоимость 1 м³ изделий уменьшается на 3,5 руб. В районе Донецкого угольного бассейна применение золы ТЭС в бетонах способствует снижению стоимости 1 м² жилой площади на 5 руб.

Зола-унос улучшает удобоукладываемость бетонной смеси. Технология применения золы для повышения подвижности смеси с неизменным расходом цемента разработана Новокузнецким отделением Уралиниипроекта и трестом «Кузбассжелезобетон». Высокоподвижные и литые смеси по этой технологии можно использовать для изготовления изделий практически без вибрации. Применение золы совместно с добавкой сульфитно-дрожжевой бражки (СДБ) обеспечивает снижение водопотребности бетонной смеси и повышение прочности бетона.

В СССР накоплен большой опыт использования золы в гидротехническом строительстве. В бетонах наружных зон гидротехнических сооружений золой, как правило, заменяют 10—20 % цемента, а в бетонах внутренних зон 25—30 %. При строительстве Братской ГЭС для укладки в блоки плотины применяли бетоны марок 100 и 200, в которых 15 % шлакопортландцемента заменяли золой Иркутской ТЭЦ. Зола с добавкой 0,2 % СДБ использовали при строительстве Днепровского гидроузла. Широко применяют золу-унос и золошлаковые смеси при изготовлении железобетонных изделий и конструкций. Так, на Алексинском заводе железобетонных изделий треста «Тулажелезобетон» при изготовлении железобетонных конструкций из бетонов марок 100—200 (блоков стен подвалов, парапетных плит) 10 % цемента заменяли золой бурых углей. На Польшаевском заводе крупнопанельного домостроения треста «Кузбассжелезобетон» золу-унос использовали при производстве бетонов для крупных панелей, изготавливаемых касетным способом. Расход цемента марки 400 при выпуске панелей внутренних стен из бетона

марки 200 составлял 230—250 кг на 1 м³; панели были изготовлены практически без вибрации и отличались высоким качеством. Высокая пластичность бетонной смеси была достигнута благодаря использованию пылевидной золы, вводимой в состав бетона из расчета 200 кг на 1 м³, и СДБ (0,2 % от массы цемента).

На заводе ЖБИ № 2 Главладивостокстроя золу-унос также применяли для изготовления касетным способом внутренних стеновых панелей. Здесь бетон марки 200 изготавливали с добавкой золы (150 кг) и СДБ (0,15 %). Многолетний опыт изготовления тяжелых бетонов с использованием сухой золы накоплен Новороссийским домостроительным комбинатом № 1, который выпускает панели перекрытий и внутренних стен, а также вентиляционные панели. На предприятиях стройиндустрии Днепропетровской и Запорожской областей золу ТЭС применяют вместе со шлаками [122—124].

Хорошие результаты получены при использовании зол с повышенным содержанием кальция. Так, на Дубровском заводе ЖБК в качестве добавки взамен части цемента применяли золу-унос Прибалтийской ГРЭС с удельной поверхностью 3400—4300 см²/г, получаемую при сжигании горючих сланцев. Эта зола обладает вяжущими свойствами — при твердении в нормальных условиях прочность ее при сжатии составляет 16,5 МПа. Вводят такую золу в бетон марок 100—500 при изготовлении бетонных и железобетонных конструкций, междуэтажных перекрытий, центрифугированных стоек линий электропередачи. При добавке золы в количестве 20—25 % от массы цемента прочность пропаренного бетона в первые сутки после тепловой обработки составляет 75—85 % от марочной и в течение года заметно возрастает.

Ячеистые бетоны. Сухая зола-унос от сжигания бурого, каменного угля, антрацита и горючих сланцев успешно применяется в ячеистых бетонах. При тепловлажностной обработке зола вступает в химическую реакцию с другими компонентами смеси с образованием основного цементирующего вещества ячеистого бетона. При этом в зависимости от содержания СаО она может служить либо самостоятельным вяжущим веществом, либо компонентом вяжущего. Так, золы от сжигания горючих сланцев прибалтийских месторождений СССР, богатые СаО, используют как вяжущие, а золы от сжигания углей (кроме канско-ачинских бурых углей) — в качестве кремнеземистого компонента ячеистого золобетона или золосиликата [122]. Ячеистый золобетон и золосиликат представляют собой мелкопористые материалы, получаемые при тепловлажностной обработке смеси золы, вяжущего, воды, порообразователя и различных добавок, регулирующих свойства смеси. В зависимости от вида порообразователя различают пено- и газобетон.

В СССР в общем объеме производства ячеистых бетонов 90 % составляют газобетоны и 10 % пенобетоны. С применением зол изготавливают 10—15 % всех изделий из ячеистого бетона. Ежегодно с этой целью используют около 350 тыс. т золы от сжигания бурых и каменных углей и 200 тыс. т сланцевой золы.

Ячеистый золобетон и золосиликат подразделяются на следующие группы: теплоизоляционные плотностью до 500 кг/м³; конструктивно-теплоизоляционные плотностью 500—800 кг/м³, используемые при изготовлении ограждающих конструкций, панелей и блоков наружных стен, плит покрытий; конструкционные плотностью 800—1200 кг/м³, применяемые при изготовлении несущих конструкций зданий.

Золы от сжигания каменных углей, бурых углей и сланцев должны содержать не менее 50 % стекловидных и оплавленных частиц. Потери при прокаливании не должны превышать 3 % для зол бурых углей и 5 % для зол каменных углей. Удельная поверхность зол бурого угля должна составлять не менее 4000 см²/г, каменного угля — не более

5000 см²/г. Зола должна выдерживать испытания на равномерность изменения объема. В качестве парообразователя применяют алюминиевую пудру. Регулятором твердения служит двухводный гипс или полуводный гипс с примесью поташа (углекислого калия).

Технология производства изделий из газозолобетона или газозолосиликата включает дозирование и при необходимости помол сырья, гомогенизацию, антикоррозионную обмазку арматуры, приготовление газозолобетонной или газозолосиликатной смеси, формирование изделий, выдержку сформованных изделий, их тепловлажностную обработку, отделку и складирование изделий. При изготовлении изделий из газозолобетона в качестве вяжущего вещества используют портландцемент, смешанные вяжущие или золу сланцев. Кремнеземистым компонентом является молотый песок.

Золу-унос, полученную в результате сжигания горючих сланцев, успешно используют в Эстонской ССР. Два крупных комбината строительных материалов — Нарвский и Ахметский — ежегодно изготавливают свыше 4 млн. м³ строительных деталей из сланцезольных бетонов. Автоклавный сланцезольный газобетон, получаемый на этих комбинатах, по физико-механическим свойствам практически не отличается от ячеистых бетонов, изготавливаемых с применением извести или портландцемента, а его морозостойкость и стойкость к действию агрессивных сред даже превышают аналогичные показатели обычного газобетона.

К 1980 г. указанными комбинатами выпущено около 4,2 млн. м³ изделий из сланцезольного газобетона: стеновых панелей, блоков, перегородочных плит. Из этих панелей в Эстонской ССР построено большое количество жилых домов, производственные корпуса завода азотных удобрений, больничный комплекс, сельскохозяйственные здания и сооружения.

Ступинский завод ячеистого бетона (Московской обл.) изготавливает из ячеистого золосиликата панели для наружных стен зданий, теплоизоляционные блоки и плиты. Жилые дома и объекты сельскохозяйственного назначения крупного совхоза «Заря коммунизма» построены из ступинского ячеистого бетона.

Широкое распространение получили новые эффективные материалы из ячеистого бетона — стеновые панели с архитектурной отделкой и звукопоглощающие плиты «Силакпор». В 1980 г. выпущено более 600 тыс. м³ этих материалов.

Пористые заполнители. К пористым заполнителям, изготавливаемым с использованием зол ТЭС, относятся аглопоритовый гравий и щебень, глинозёмный керамзит, безобжиговый и обжиговый гравий.

Исследованиями, проведенными во ВНИИстроме, установлено, что большая часть отходов, образующихся при обогащении и сжигании углей основных месторождений СССР, по химическому составу соответствует требованиям технологии производства аглопоритового щебня. Исключение составляет лишь высококальциевые золы углей Канско-Ачинского бассейна [126—128].

Опыт использования зол ТЭС показывает, что для получения аглопоритового щебня и гравия целесообразно применять золы ТЭС средней плавкости с температурой размягчения 1200—1400 °С и тугоплавкие золы с температурой размягчения выше 1400 °С, характеризующиеся интервалом размягчения более 100 °С и содержанием остатков топлива соответственно до 8 и 12 %. Удельная поверхность зол ТЭС должна составлять не менее 2000 см²/г (остаток на сите 008 не более 40 %).

Технология получения искусственных пористых заполнителей методом агломерации включает следующие основные операции: подготовку компонентов смеси, приготовление шихты (гранул), термическую обработку (обжиг, спекание) на агломерационной решетке, дробление (при

производстве аглопоритового щебня) и сортировку готовой продукции.

На основе проведенных работ создан проект завода по производству аглопоритового гравия и щебня из сухой золы-уноса, гидроудалаемой золы отвалов ТЭС мощностью 250—300 тыс. м³ в год [122].

Перспективна технология производства аглопоритового гравия и щебня из золы, удаляемой гидравлическим способом. Во ВНИИстроме и НИИхиммаше установлена возможность обезвоживания зольного шлама на вакуум-фильтрах до оптимальной влажности, обеспечивающей стабильную работу тарельчатых грануляторов. На основе этой технологии Южгипростромом разработан проект завода по производству аглопоритового гравия из гидроудалаемой золы, который построен и введен в действие в пос. Днестровск (Молдавская ССР). Технологическая схема этого завода, мощность которого составляет 300 тыс. м³ в год, отличается от традиционных схем наличием сгустителей и дисковых вакуум-фильтров. Количество вводимой в шихту для формирования гранул глины составляет 5—7 % от массы сухой золы.

Золу ТЭС можно использовать и при изготовлении глинозёмного керамзита в качестве добавки, вводимой в глину (10—30 %), а также как компонент сырьевой смеси (50 % и более). Введение в глинистую шихту золы ТЭС позволяет снизить насыпную плотность керамзита на 1—2 марки. В результате добавки в глинистую породу около 30 % золы Новомосковской и Южносахалинской ГРЭС насыпная плотность глинозёмного керамзита снижена соответственно с 450 до 360 и с 600 до 400 кг/м³. Введение в состав шихты 10—30 % торфяной золы Кировской и Калининской ТЭС также способствовало уменьшению насыпной плотности глинозёмного керамзита с 650 до 400 кг/м³.

Крупные объемы золы можно использовать при производстве глинозёмного керамзита; зола при этом выступает в роли сырьевого компонента. Исследования, проведенные в НИИкерамзит [129, 130], показали пригодность для производства глинозёмного керамзита золы с содержанием SiO₂ 33—57 % и Al₂O₃ 14—37 %. Допустимое содержание остатков топлива в золе не должно превышать 17 %. Особенности разработки НИИкерамзитом технологии получения глинозёмного керамзита является тщательная подготовка сырьевой шихты — ее максимальная гомогенизация. Поэтому в качестве исходного сырья могут быть использованы только золы из отвалов гидроудаления, так как сухая зола-унос трудно поддается гомогенизации. Глинозёмный керамзит, полученный в опытно-промышленных условиях из золы ТЭС, характеризуется следующими показателями: насыпная плотность 400—700 кг/м³, прочность при сдвигании в цилиндре 2,3—4,8 МПа, водопоглощение 10—20 %, морозостойкость более 15 циклов. Он полностью удовлетворяет требованиям стандартов на пористые заполнители для легких бетонов.

Технология производства еще одной разновидности пористых заполнителей — зольного гравия — разработана ВНИИтеплопроект. При этом можно использовать золошлаковые смеси отвалов гидроудаления и в отдельных случаях золу-унос. В золе должно содержаться не менее 7 % Fe₂O₃ и более 8 % CaO+MgO. Наиболее жесткие требования предъявляют к содержанию остатков топлива в золе, которые не должно превышать 1 %.

Технологический процесс получения зольного гравия из золошлаковой смеси включает следующие операции: измельчение высушенной золы или смеси глины с золой в шаровой мельнице до дисперсности, характеризующейся остатками на сите 0,08 менее 10 % и на сите 0,2 менее 25 %; увлажнение молотого материала раствором СДБ в количестве 15—20 % от массы золы и обработки полученной массы на тарельчатом грануляторе; сушка гранулированного материала и его обжиг в прямоточ-

ной вращающейся печи при температуре 1000 °С. Полученные из печи вспученные гранулы подаются в барабанный холодильник, рассеиваются по фракциям и отправляются на склад готовой продукции.

В Кашире (Московская обл.) на заводе железобетонных изделий № 3 работает первый в СССР цех зольного гравия производительностью 30 тыс. м³ в год. В качестве исходного сырья используется золошлаковая смесь отвалов Каширской ГРЭС-4.

Разновидностью зольного гравия, получаемого без высокотемпературной обработки, является безобжиговый зольный гравий [131]. Основными переделами производства безобжигового гравия являются совместный помол золы и вяжущего, формирование гранул, их термическая обработка (сушка при температуре 100 °С или пропаривание) и сортировка гранул. В качестве вяжущего используют портландцемент (10—15 %) или гипсоцементнопущолан марки 100. Прочность безобжигового зольного гравия 3—8 МПа, насыпная плотность 600—1100 кг/м³.

В опытно-промышленных условиях безобжиговый гравий получен на Ангарском заводе железобетонных изделий № 4. Стеновые панели из неавтоклавного зологазобетона на таком гравии характеризовались в два раза меньшими усадочными деформациями по сравнению с обычными зологазобетонными изделиями.

Керамические стеновые изделия. По содержанию оксидов зола-унос близка к глинистым породам, используемым при производстве керамических стеновых материалов. Немаловажно и то, что зола-унос уже прошла определенную термическую обработку, обладает дисперсностью, уменьшающей продолжительность помола или исключающей его, и содержит топливные остатки, которые могут быть использованы в процессе обжига. Все это создает предпосылки для широкого использования зола-уноса при изготовлении стеновой керамики.

Исследования, проведенные во ВНИИстроме, НИИИстромпроекте (Алма-Ата) и в системе Укроргтехстройматериалов, легли в основу технологии производства керамических камней на основе золошлакового сырья методом полусухого формирования [132]. Она включает дозирование золы и глинистой породы, смешивание компонентов в двухванном смесителе и глинопротирочной машине с одновременной подсушкой и подогревом. Пустотелые зольные керамические камни размером 250×120×140 мм характеризуются пустотностью 55 %, средней плотностью 700—900 кг/м³, прочностью при сжатии 7,5—12,5 МПа, водопоглощением 10—13 %. В НИИИстромпроекте разработаны составы зологлиняного кирпича золокерама, изготавливаемого с использованием 65—85 % золы ТЭС и 15—35 % глины.

При производстве золокерама расход топлива на обжиг зависит от содержания в золе топливных остатков и количества золы в шихте и сокращается не менее чем в 1,5 раза.

Разработана технология производства керамических изделий с применением золы в качестве добавки. Принципиальная схема производства на кирпичных заводах, использующих золу в качестве добавки, отличается от традиционной наличием дополнительной линии для приема, подачи и дозирования золы, а также включением одного или двух перемешивающих агрегатов. При употреблении золы в качестве отощающей и выгорающей добавки предусматривается отделение подготовки золы, а при недостаточном количестве горючей части в золе — отделение топливной добавки. Как правило, в шихту дополнительно вводят древесные опилки, шлам и кварцевый песок, количество которых устанавливают опытным путем. Зола вводят в количестве от 8—20 % при использовании низкопластичного сырья до 40—48 % при применении высокопластичных глин.

На Бескудниковском кирпичном заводе (Москва), работающем на

умереннопластичном сырье, в шихту вводят 10 % золошлаковой смеси, на Салаватском кирпичном заводе, использующем высокопластичное глинистое сырье, 45 % золы, на Черниговском кирпичном заводе 20 % золы и т. п. [132]. За счет ввода в шихту достигается более равномерный обжиг сырца, повышается качество керамических изделий, в том числе прочность, снижается расход технологического топлива. Все это заметно улучшает технико-экономические показатели производства.

На Салаватском кирпичном заводе стоимость 1 м³ добавок в шихту (золы вместо шамота, топливного шлака и опилок) снижена с 10,0 до 1,8 руб., повышена марочность кирпича, снижен брак и уменьшен срок сушки сырца. Золоотвалы Салаватской ТЭС, которые раньше занимали около 100 га, практически ликвидированы. На Орском кирпичном заводе благодаря применению золы ТЭС объем выпуска кирпича марок 125—150 возрос на 40 %. В целом при производстве глиняного кирпича расход технологического топлива снижается на 20—70 %, пикл сушки кирпича-сырца сокращается на 20 %, затраты на сырье уменьшаются до 8 руб. на 1000 шт. кирпича. В среднем для завода мощность 50 млн. шт. усл. кирпича экономический эффект от использования золы составляет 100 тыс. руб. в год.

Шлакоситаллы. В СССР впервые в практике мирового стеклоделия разработана технология производства стеклокристаллических материалов нового класса — шлакоситаллов, служащих декоративным облицовочным материалом и обладающих высокой износостойкостью и химической устойчивостью. Технология производства шлакоситаллов на основе металлургических шлаков разработана Московским химико-технологическим институтом имени Д. И. Менделеева, НИИавтостеклом и Государственным институтом стекла совместно с работниками завода «Автостекло» (г. Константиновка). Шлакоситалл широко применяется в строительстве (аэровокзал, аэропорт «Шереметьево», универмаг «Москва» в Москве и т. д.).

Установлено, что шлакоситаллы можно получить, используя вместо дефицитного домениого шлака шлаки и золы ТЭС. Кировским филиалом Росоргтехстрема и Уральским политехническим институтом проведены исследования с целью создания шлакоситаллов из отходов ТЭС. Полученные из зол и шлаков ТЭС шпательно-пироксеновые ситаллы обладают кислотостойкостью по отношению к концентрированной H₂SO₄, состоящей 99,8 %, щелочестойкостью по отношению к 35 %-ной NaOH, равной 98,6 %, высокой твердостью и прочностью.

Ситалловые кольца, изготовленные на экспериментальном заводе Кировского филиала Росоргтехстрема, эксплуатируются на Стрижевском заводе силикатного кирпича уже более трех лет, в то время как металлургические кольца работали не более одного месяца. Экономический эффект, полученный в результате использования 30 колец, составил 30 тыс. руб. в год [133].

Минеральная вата. В НИИИстромпроекте (Алма-Ата) разработана технология получения минеральной ваты из шихты на основе золы ТЭС, предусматривающая выполнение операций измельчения исходного сырья до размера части 5 мм, тщательного смешивания составляющих, расплавления в электродуговой печи и раздува расплава горизонтально-дутовым способом. В момент раздува температура расплава должна составлять около 1350 °С. Волокна осаждают в специальной камере.

Минеральная вата из золы ТЭС может найти применение в производстве теплоизоляционных и теплозвукоизоляционных изделий. Расчетный годовой экономический эффект при выпуске минеральной ваты с использованием золы ТЭС составляет для предприятия производительностью 10 тыс. м³ в год около 30 тыс. руб.

Пыли и шламы, уловленные в газоочистных установках, находят

широкое применение в качестве полупродуктов для повторного использования, в качестве удобрения и др. Доломитовая пыль, уловленная в циклонах и электрофильтрах из дымовых газов вращающихся печей, успешно применяется в сельском хозяйстве в качестве удобрений для кислых почв [2].

Во Всесоюзном институте огнеупоров (ВИО) разработан новый способ утилизации пыли, отличающийся тем, что из пыли приготавливается полусухая масса и прокатывается перед обжигом на валковом прессе с гладкими валками. Способ позволяет получить огнеупорный порошок, пригодный для изготовления высококачественных огнеупорных изделий, а также значительно снизить пылеунос и улучшить условия труда.

Разработаны технологические процессы утилизации для различных видов огнеупорной пыли, включающие предварительный помол материалов, приготовление массы, ее уплотнение, прессование на валковом прессе, обжиг брикета, его дробление и рассев порошка по фракциям. При разработке технологии брикетирования исходили из того, что брикет должен быть достаточно прочным для исключения его разрушения при транспортировке, перегрузочных операциях и при обжиге во вращающейся печи, а также обладать хорошей спекаемостью. Для эффективности процесса обжига брикета толщина его должна быть порядка 15 мм [2].

Сибгипромет разработал технологическую схему утилизации шламов газосистемных установок доменного цеха, предусматривающую извлечение цинка из железометаллического концентрата. Установка состоит из отделений подготовки шламов, вальцевания окатышей и обогащения клинкера [134].

Новые направления применения золы углей ТЭС

В последние годы в связи с увеличением объемов производства золы существенное развитие получили исследования по изысканию более эффективных способов ее утилизации. В настоящее время основным потребителем золы по разработанным технологическим процессам является преимущественно строительная индустрия. Однако особенности золы (полидисперсный состав, специфические химические и физико-механические свойства) открывают новые возможности для ее использования.

Опыты, проведенные в США, показали, что благодаря большой удельной поверхности и содержанию углерода зола является хорошим адсорбентом для ряда органических веществ (например, фенолов), загрязняющих промышленные воды. Добавка золы в определенной пропорции в технологический раствор при вакуумной фильтрации значительно увеличивает эффективность процесса и обеспечивает получение хорошо обезвоженного пека, который легко сжигается, а в фильтрате заметно снижается содержание органических примесей. Зола способна также очищать воды сточных водоемов от некоторых видов бактерий и водной флоры, устраняя при этом неприятный запах и улучшая вкус воды. Присутствующий в золе калий связывает фосфор, содержащийся в воде, который активизирует развитие макроорганизмов.

Сточная вода, обработанная специально приготовленными реагентами на основе золы, очищается через 30 мин от всех твердых частиц, органических соединений, а также бактерий и фосфатов.

В Англии разработан оригинальный способ применения силиконизированной золы для ликвидации последствий нефтяных загрязнений на море. Если разлившуюся нефть обработать такой силиконизированной золой, то в результате агломерации образуется масса, которая мгновенно тонет.

В ряде стран (Канаде, США, Англии) осваиваются процессы комплексного использования золы. При этом из нее пытаются выделить различные ценные продукты и материалы: магнезит, алюминий (в виде глинозема и криолита) и даже углерод.

Установлена возможность применения золы в сельском хозяйстве для удобрения почвы с целью введения в нее цинка, калия, молибдена и бора, находящихся в золе. Исследования проводились с золой электростанций на различных почвах. В результате выявлено, что бор из золы оказывает благоприятное влияние на рост растений. Калий, хотя и способствует увеличению урожайности растений, менее эффективен, чем хлористый калий. Молибден усваивается растениями особенно хорошо при повышении pH почвы. Имеется положительный опыт получения из золы абразивных материалов и некоторых химических продуктов. Предлагают использовать золу для тушения пожаров в шахтах, для заполнения старых выработок и даже как средство, ускоряющее таяние льда.

Глава 7 УСТАНОВКИ ПЫЛЕУЛАВЛИВАНИЯ И ОЧИСТКИ ГАЗОВ В ОТРАСЛЯХ ПРОМЫШЛЕННОСТИ

7.1. ВЫБОР ТЕХНИЧЕСКИХ РЕШЕНИЙ

В современных условиях наметились следующие основные пути борьбы с вредными выбросами от стационарных источников: изменение или оптимизация технологического процесса для уменьшения выбросов; оснащение технологических агрегатов эффективными газоочистными и пылеулавливающими аппаратами; ликвидация источников вредных выбросов путем внедрения малоотходной или безотходной технологии.

При разработке систем очистки необходимо учитывать, что генеральной линией является внедрение сухих пылеуловителей. Это позволяет не только сохранить значительные земельные площади, отчуждаемые под шламовые бассейны при использовании мокрых методов очистки, но и получить экономический эффект за счет утилизации уловленного полупродукта. Мокрые методы предпочтительны, если очищаемые газы охлаждаются до температуры точки росы или если пыль в производстве используют в виде пыли в обратном цикле. Мокрые методы предпочтительнее при обеспыливании взрывоопасных или токсичных газов, так как аппараты мокрой очистки позволяют создать герметичные корпуса и обеспечить их быструю продувку.

В современных условиях развитие технологических процессов направлено на совершенствование производства путем внедрения нового прогрессивного «малопылящего» оборудования, применения газообразного топлива и др. Экологическая безопасность в ближайшие годы будет по-прежнему зависеть от ввода в действие различных очистных установок и сооружений как неотъемлемой части любого промышленного предприятия.

Эффективность пылеуловителей зависит от дисперсного состава частиц. Однако на работы электрофильтров не менее важное влияние оказывают удельное электрическое сопротивление слоя пыли, температура

и влажность газов. Эксплуатационная надежность многих аппаратов зависит от слипаемости частиц и их абразивности, начальной запыленности газов и их агрессивности. Для выбора оптимальной схемы по ожидаемой эффективности, капитальным и эксплуатационным затратам проводится вариантная проработка проектных решений на базе исходных данных.

Возрастание стоимости установки по мере повышения ее к.п.д. можно выразить зависимостью вида

$$1 - \eta = e^k,$$

где η — к.п.д. пылеулавливающей установки; $(1-\eta)$ — величина, пропорциональная безвозвратному выбросу через дымовую трубу; k — величина, пропорциональная стоимости установки.

Пример. Чтобы остаточная запыленность газа составила 10 г/м^3 при входной концентрации 100 г/м^3 ($\eta=0,90$), необходимо сооружение установкой стоимостью K руб.; для доулавливания следующих 9 г/м^3 ($\eta=0,99$) стоимость установки составит $2K$ руб., а следующих $0,9 \text{ г/м}^3$ ($\eta=0,99$) — уже $4K$ и т.д.

Таким образом, для доулавливания 1 г пыли на конечной стадии требуется капитальных затрат в 400 раз больше, чем для улавливания 1 г в начальной стадии ($4K \cdot 90/0,9K$).

Опыт показывает, что средний срок окупаемости газоочистного сооружения составляет $4-5$ лет.

При экономической оценке метода очистки учитывают непосредственные затраты на капитальное строительство и эксплуатацию не только пылеулавливающих аппаратов, но и вспомогательных устройств, таких как охладители газов, насосы для подачи воды, здания и т.д., а также принимают во внимание коррозию аппаратов, надежность их работы, сброс загрязненных сточных вод. За обобщающий показатель эффективности капитальных вложений в газоочистку принимается уровень приведенных затрат $C+EK$, где C — эксплуатационные затраты; E — нормативный коэффициент эффективности капитальных затрат, равный $0,15$; K — капитальные затраты или сумма производственных основных и оборотных фондов.

Лучшими по экономическим факторам считаются объекты или варианты с минимальными приведенными затратами. Чем ниже уровень приведенных затрат, тем экономичнее и эффективнее объект, вариант, мероприятие.

Согласно «Методике определения экономической эффективности использования в народном хозяйстве новой техники, изобретений и рационализаторских предложений» (утвержденной Государственным комитетом Совета Министров СССР по науке и технике, Госпланом СССР, Академией наук СССР и Государственным комитетом Совета Министров СССР по делам изобретений и открытий постановлением от 14 февраля 1977 г.) экономический эффект от применения новых технологических процессов газоочистки, обеспечивающих экономно производственных ресурсов при сохранении объема очищаемых газов и эффективности их очистки определяется по формулам: $\mathcal{E} = (3_1 - 3_2) A_2$ или $\mathcal{E} = (C_1 + EK_1) - (C_2 + EK_2) A_2$, где $\mathcal{E}$ — годовой экономический эффект; $3_1 = (C_1 + EK_1)$ — приведенные затраты на единицу объема очищаемых газов с помощью базовой и новой техники; C_1 и C_2 — себестоимость очистки газов при использовании базовой и новой техники; K_1 и K_2 — удельные капитальные вложения в производственные фонды при использовании базовой и новой техники; E — нормативный коэффициент эффективности; A_2 — годовой объем очищаемых газов.

При расчете эффективности проектируемых газоочистных установок в случае отсутствия аналога для сравнения можно использовать форму-

лу: $\mathcal{E} = (P - EK) A_2$, где P — прибыль от применения газоочистного оборудования, например в результате возврата в производство уловленного продукта; K — удельные капитальные вложения на сооружение газоочистной установки; A_2 — годовой объем очищаемых газов.

Расчет эксплуатационных расходов строится с учетом стоимости улавливаемых веществ, если они возвращаются в производство или реализуются как готовый товарный продукт.

В случае, когда оцениваемый объект имеет большие капитальные затраты при меньших эксплуатационных расходах, срок окупаемости дополнительных капитальных вложений определяется по формуле

$$T = (K_2 - K_1) / (C_1 - C_2).$$

Окупаемость капитальных вложений в сроки ниже нормативных (7 лет, что соответствует $E=0,15$) является показателем целесообразности капитальных затрат.

В 1983 г. Госпланом СССР, Госстроем СССР и Академией наук СССР одобрена временная типовая методика определения экономической эффективности осуществления природоохранных мероприятий и оценка ущерба, причиняемого народному хозяйству загрязнением окружающей среды.

При выборе очистного оборудования принимают во внимание следующие положения. В качестве средств высокоэффективного сухого пылеулавливания могут быть использованы рукавные фильтры или электрофильтры. Рукавные фильтры могут обеспечить значительно более устойчивую и эффективную очистку, чем электрофильтры, при одинаковых параметрах улавливаемой пыли, однако они дороже и занимают, как правило, больше места. Основной причиной, сдерживающей распространение рукавных фильтров, является невысокая температуростойкость тканей, которая не превышает для большинства синтетических тканей 130°C , а для стеклотканей 230°C .

Сухие электрофильтры являются наиболее удобными аппаратами для очистки невзрывоопасных газов от пыли при температурах до 400°C в том случае, если запыленность газа на выходе достигает не ниже $50-100 \text{ мг/м}^3$ при объеме очищаемого газа свыше $50000 \text{ м}^3/\text{ч}$. Если объем очищаемого газа меньше или требуется более высокая эффективность улавливания, то выбор между электрофильтром и рукавным фильтром может быть сделан только путем тщательного технико-экономического анализа, с учетом параметров пылегазового потока и его физико-химических свойств.

Сведения о происхождении выбросов, количестве одновременно работающих технологических агрегатов позволяет прогнозировать возможные изменения дисперсности частиц и запыленности пылегазового потока и изменения их расхода. В большинстве случаев частицы, образовавшиеся в результате механических процессов измельчения, имеют размеры от 5 до 50 мкм и более; частицы, образовавшиеся как следствие термических и химических процессов, имеют размеры до 3 мкм .

Данные о составе перерабатываемой шихты позволяют уточнить выбор метода очистки газов. Например, наличие в шихте извести заранее исключает возможность использования мокрого пылеулавливания. Присутствие в шихте значительного количества абразивного материала требует изготовления центробежных аппаратов с повышенной толщиной стенок или специальной защитой, а также затрудняет применение фильтровальной ткани из-за быстрого износа на ней ворса. Сведения о наличии в шихте химически активных, горючих или взрывоопасных веществ позволяют предусмотреть необходимые меры по защите системы пылеулавливания от коррозии, пожаров и взрывов.

Предусматриваемая форсировка технологического процесса и расширения производства дают основания при выборе системы пылеулавливания предусматривать резервные аппараты или место для их размещения в последующем.

Сведения о температуре газов при входе в газоочистку позволяют решить вопрос о целесообразности их предварительного охлаждения и выбрать тип пылеулавливающих аппаратов. При температуре газов 500—1000 °С их предварительное охлаждение необходимо.

С целью экономии энергоресурсов предпочтительно использовать теплообменные аппараты и лишь в крайнем случае принимать схему охлаждения пылегазового потока воздухом.

Состав газов, их агрессивность, взрывоопасность, токсичность дают дополнительные сведения о типах пригодного для применения оборудования, материалах, необходимых для его изготовления, возможности расположения установок на открытом воздухе, мерах техники безопасности при работе с взрывоопасными и токсичными газами.

Влагосодержание газопылевого потока позволяет определить точку росы газов, оценить удельное электрическое сопротивление слоя пыли, рассчитать толщину теплоизоляции, необходимую для предупреждения конденсации паров воды на стенках аппаратов. Кроме того, знание влагосодержания газов является дополнительной информацией для выбора оптимальной схемы пылеулавливания. Например, практически для всех технологических процессов очистка горючих газов с влагосодержанием менее 60—70 г/м³ в электрофильтрах затруднена, так же как и очистка сухого аспирационного воздуха (с влагосодержанием менее 15—20 г/м³) при температурах более 70 °С. Наличие в очищаемых газах серосодержащих соединений повышает температуру точки росы газов и заметно улучшает работу электрофильтров, хотя одновременно с этим возникает опасность сернокислотной коррозии активных поверхностей оборудования.

Данные о плотности пыли и угле естественного откоса пыли позволяют выполнить пылеуловитель с необходимыми для надежной работы механической прочностью и углами наклона стенок бункеров. Кроме того, с учетом насыщенной плотности улавливаемой пыли рассчитываются строительные конструкции под аппараты. В зависимости от стоимости улавливаемого продукта решается вопрос целесообразности степени извлечения продукта из газов и подбираются системы его транспортировки.

Вопрос о желаемой степени очистки позволяет учесть мнение заказчика и обычно согласуется с существующей фоновой концентрацией, намечаемой высотой выброса газов из дымовой трубы и стоимостью улавливаемого продукта. С учетом требований по ПДК в процессе проектирования могут быть внесены уточнения как по степени очистки газов, так и по высоте дымовой трубы.

Сведения о сменности работы предприятия, возможных остановках производства позволяют уточнить время между текущими, планово-предупредительными и капитальными ремонтами аппаратов пылеулавливания, механизмов транспорта уловленной пыли, оценить необходимую степень надежности. В отдельных случаях не исключено, что при планируемой длительно непрерывной работе предприятия потребуются установка резервного оборудования, например дымососа или вентилятора.

Основным критерием выбора газоочистного аппарата является степень очистки. Однако высокое значение степени очистки пылеуловителя в ряде случаев не гарантирует выполнения санитарно-гигиенических норм, так как при расчете ПДК учитывается остаточная запыленность отходящих газов. Например, золоулавливание в электрофильтре, казалось бы, с высокой степенью эффективности (98—99 %) при содержа-

нии золы в отходящих газах на уровне 60 г/м³ позволит снизить остаточную запыленность всего лишь до 0,6—1,2 г/м³. Для обеспечения ПДК в приземном слое потребуется сооружение высокой дымовой трубы для рассеивания золы.

С другой стороны, очистка запыленных газов с эффективностью 98—99 % вполне достаточна при начальной запыленности 5 г/м³. При этом остаточная запыленность составит 0,05—0,1 г/м³, что для большинства случаев является вполне приемлемой и не требует доочистки или специальных мероприятий по рассеиванию.

В каждом конкретном случае оптимальная схема может быть разработана только при вариантной проработке проектных решений с учетом всех факторов, рассмотренных выше.

7.2. ОБЕСПЫЛИВАНИЕ ГАЗОВ В ЦЕМЕНТНОЙ ПРОМЫШЛЕННОСТИ

Все сырьевые материалы, применяемые для изготовления цемента, после добычи в карьерах и доставки на завод подсушивают, дробят и измельчают (при сухом способе производства цемента до пылевидного состояния), чтобы увеличить их реакционную поверхность. Полученную сырьевую шихту (после усреднения ее состава в силосах) обжигают при высокой температуре в клинкерообжигательных вращающихся или шахтных печах, затем охлаждают в холодильникех. После этого она поступает в промежуточный склад. Продукт обжига клинкера с гипсом и другими добавками измельчают в мельницах; полученный при этом цемент транспортируется на склад (в силосы), откуда он в специальной таре отправляется потребителю [135].

Основными источниками пылевыделения на цементных заводах являются печи для обжига клинкера мокрого и сухого способов производства. При мокром способе производства на каждую тонну обжигаемого клинкера из вращающихся печей выносятся с запыленными газами 5,3—7,3 т пыли с температурой 140—400 °С, содержащих (даже при хороших внутривспычных пылеподавляющих устройствах — гирляндных цепных завесах) от 80 до 250 кг полубоженной сырьевой шихты в виде дисперсной пыли.

При сухом способе производства количество сухих запыленных газов, выносимых из современных печей, на 25—45 % меньше, однако температура их достигает 350—400 °С, а масса тонкодисперсной пыли составляет 50—120 кг на тонну клинкера.

Кроме того, из колосниковых холодильников клинкера, устанавливаемых у всех мощных современных печей, выбрасывается на каждую тонну клинкера 1,1—1,8 т сухого горячего воздуха (с температурой 150—290 °С), содержащего 7—10 кг клинкерных частиц.

Общее количество запыленного аспирационного воздуха, содержащего в среднем 500 кг пыли на 1 т клинкера из сырьевой и цементной мельниц, составляет примерно 25 % от массы отходящих газов печи мокрого способа [135].

Физико-химические свойства пылей цементного производства

Пыли цементного производства по своим свойствам разделяются на следующие группы:

1. Пыли, образующиеся при дроблении и транспортировке сырьевых материалов; имеют грубодисперсный состав (около 70 % частиц крупнее 5 мкм), а температуру и влажность — окружающей среды.

2. Пыли сушильных барабанов сырья и добавок; характеризуются

ХАРАКТЕРИСТИКА ПЫЛЕЙ ЦЕМЕНТНОГО ПРОИЗВОДСТВА

Технологическое оборудование	Параметры пылегазового потока				удельное электрическое сопротивление, Ом·м	Дисперсный состав частиц менее 5 мкм, %	Угол естественного откоса, град	Плотность, кг/м³
	объем, м³/кг продукта	температура, °С	температура точки росы, °С	концентрация пыли, г/м³				
Печи длиной: до 100 м	3,8—6,0	225—385	60—67	10—48	$1,0 \cdot 10^8$ — $2 \cdot 10^9$	17—36	37—45	2670—2820
100—127 м	3,5—6,8	180—300	58—67	10—66	$1,8 \cdot 10^7$ — $2,3 \cdot 10^8$	8—30	37—42	2540—2990
127—150 м	3,5—6,0	170—260	58—71	10—49	$2,5 \cdot 10^7$ — $9 \cdot 10^9$	10—41	37—47	2630—3300
170 м	4,2—5,9	195—250	62—73	10—60	$2,5 \cdot 10^7$ — $3,3 \cdot 10^8$	19—52	39—52	2710—2870
185 м	3,9—5,7	180—250	66—75	10—55	$1,8 \cdot 10^7$ — $2 \cdot 10^9$	36—49	35—49	2650—2950
Печи с концентратами шлама	3,7—5,7	175—250	62—66	40—99	$2,7 \cdot 10^9$ — $8 \cdot 10^{10}$	6—20	36—45	2700—2900
Печи с конвейерным калцинатором	3,3—4,3	110—210	32—48	10—28	$3,9 \cdot 10^7$ — $4 \cdot 10^9$	10—20	38—45	2750—2800
Печи с циклонными теплообменниками	2,5—3,3	190—380	29—44	16—60	$1,0 \cdot 10^8$ — $1,0 \cdot 10^{11}$	51—75	45—51	2640—2840

Колосниковые холодильники	1,0—2,9	90—290	—	5—40	$2,8 \cdot 10^8$ — $1,3 \cdot 10^9$	15—17	35—41	3060—3300
Цементные мельницы открытого цикла	0,2—0,5	70—170	22—60	300—960	$2 \cdot 10^7$ — $2 \cdot 10^{10}$	5—39	42—52	2780—3220
Цементные мельницы сепараторные	0,5—0,7	65—90	30—44	545—850	$1,0 \cdot 10^7$ — $1 \cdot 10^{10}$	15—35	38—50	2750—3180
Сырьевые мельницы открытого цикла	0,2—0,7	60—100	35—50	120—410	$1,0 \cdot 10^8$ — $6 \cdot 10^{10}$	26—65	45—46	2690—2790
Сырьевые мельницы сепараторные	0,8—1,4	50—70	35—53	400—590	$1,0 \cdot 10^8$ — $6 \cdot 10^{10}$	20—30	44—46	2700—2760
Сушильные барабаны	0,5—1,1	70—150	42—62	15—70	$1,2 \cdot 10^7$ — $3 \cdot 10^{10}$	5—36	36—46	2630—2710
Реакторные сушилки	1,2—1,6	100—150	45—47	25—80	$1,0 \cdot 10^7$ — $3 \cdot 10^{10}$	10—40	38—45	2690—2800

повышенным влагосодержанием (температура точки росы 40—60 °С) и широким диапазоном колебаний концентрации аэрозоля (15—70 г/м³).

3. Пыли сырьевых мельниц; характеризуются высокой концентрацией (до 500 г/м³) и большим количеством частиц тонких фракций (менее 5 мкм до 65 %).

4. Пыли вращающихся печей мокрого способа производства; имеют высокое влагосодержание (температура точки росы 58—75 °С) и высокую температуру, изменяющуюся для различных типоразмеров печей от 170 до 380 °С.

5. Пыли вращающихся печей сухого способа производства (с циклонными или шахтно-циклонными теплообменниками); характеризуются тонким дисперсным составом (частицы размером ниже 5 мкм до 75 %), высоким удельным электрическим сопротивлением ($УДС = 1,0 \cdot 10^9 \text{ Ом} \cdot \text{м}$) и низким влагосодержанием (температура точки росы 29—44 °С).

6. Пыли вращающихся печей с конвейерными кальцинаторами; имеют низкое влагосодержание (температура точки росы 32—48 °С) и содержат грубодисперсные частицы (80 % частиц размером свыше 5 мкм).

7. Пыли клинкерных холодильников; характеризуются низким содержанием влаги (температура точки росы до 30 °С), широким диапазоном колебания температуры (90—290 °С) и содержанием грубодисперсных частиц (80 % частиц размером свыше 5 мкм).

8. Пыли цементных мельниц; имеют высокую входную концентрацию (достигающую величины 960 г/м³), влагосодержание колеблется в широких пределах (температура точки росы 22—60 °С).

Более 80 % пыли, выбрасываемой в атмосферу, выделяется вращающимися печами, а остальное количество пыли — цементными и сырьевыми мельницами (сухого помола), дробильно-сушильными установками, а также силосами хранения сырьевых материалов, добавок, клинкера и цемента. В табл. 7.1 приведены характеристики пылей цементного производства.

Установки обеспыливания газов, отходящих из клинкерообжигательных печей

Для обеспыливания газов печей мокрого способа производства применяют в основном многопольные электрофильтры типа УГ и ЭГА. Электрофильтры размещают снаружи здания под шатром между пылесосающей камерой печи и дымовой трубой (рис. 7.1). Пыль, уловленная электрофильтром, системой шнеков из бункеров подается в пневмовинтовой насос, с помощью которого по трубопроводу она возвращается в цепную завесу печи. Иногда осажденную пыль этим же насосом подают в специальный силос, откуда спецтранспортом направляют потребителям. Если температура газов, отходящих от печи, по каким-либо причинам стабильно превышает допустимую для электрофильтров, то для ее снижения принимают меры по усовершенствованию цепной завесы печи либо решается вопрос возможности применения высокотемпературных электрофильтров, допускающих нормальную эксплуатацию при температуре газов до 400 °С. При выборе электрофильтра исходят из того, что скорость газов в нем не должна превышать 1,2 м/с, а их время пребывания в активной зоне электрофильтра быть не менее 8 с. Следует учитывать неизбежное увеличение объема газов (до 20 %) при отклонениях от оптимального режима работы печи. Эффективность рассмотренной схемы при запыленности газов на входе в электрофильтр 10—20 г/м³ составляет 98—99 %, что определяет вынос пыли в пределах 0,1—0,5 г/м³. Подобная эффективность обеспыливания недостаточна, здесь не учтено, что надежность, а следовательно, и коэффициент использования по сравнению с вращающимися печами и колосниковыми

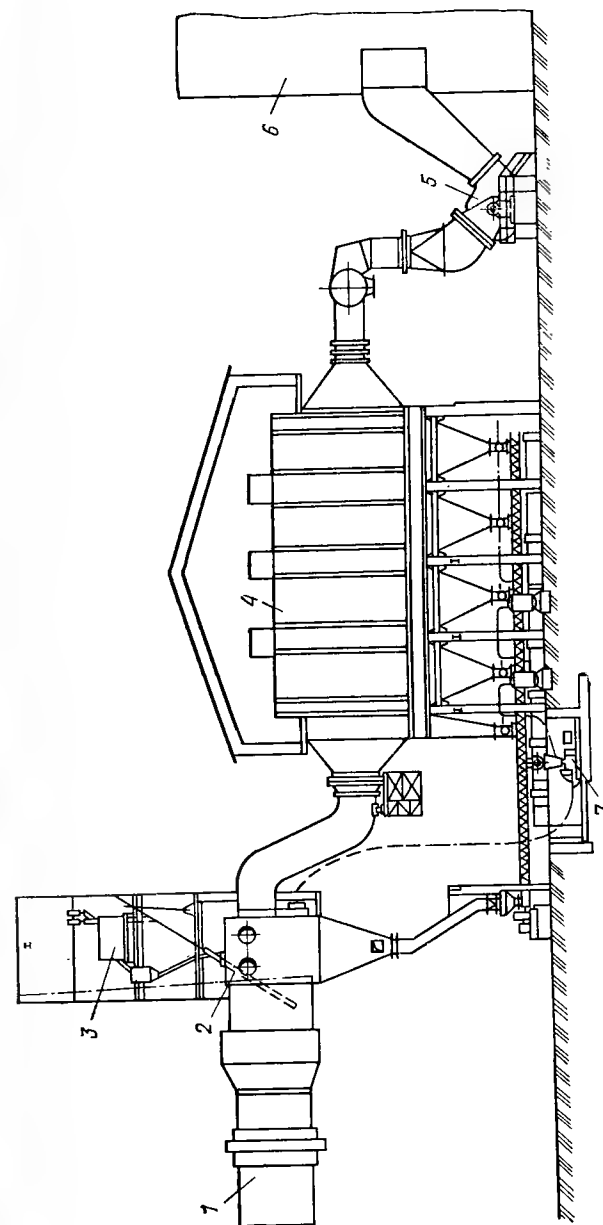


Рис. 7.1. Установка электрофильтра за вращающейся печью:

1 — печь; 2 — пылесосающая камера; 3 — пневмовинтовой насос; 4 — электрофильтр; 5 — дымосос; 6 — дымовая труба; 7 — пнев-

холодильниками у электрофильтров ниже, а это приводит к снижению эффективности пылеулавливания. Поэтому рекомендуется применять двухступенчатую систему очистки, используя в качестве первой ступени циклоны с эффективностью улавливания крупной пыли (свыше 20 мкм) до 80 %, а в качестве второй ступени — новые, более совершенные электрофильтры типа ЭГА, допускающие работу при температуре газов до 330 °С.

Обеспыливание газов печей сухого способа производства. К категории печей сухого способа производства относятся короткие или длинные полые вращающиеся печи без внутрипечных или запечных теплообменников и короткие полые вращающиеся печи с запечными циклонами или циклонно-шахтными теплообменниками. Наиболее распространенными и экономичными для обжига клинкера являются высокопроизводительные короткие полые вращающиеся печи с запечными теплообменниками. Отходящие газы этих печей обеспыливают в двухступенчатых пылеулавливающих установках, в которых первой ступенью служат циклоны, а второй либо электрофильтры, либо рукавные фильтры с рукавами из гидрофобизированной и графитизированной стеклоткани.

Удельное электрическое сопротивление тонкодисперсной пыли, улавливаемой из газов печей сухого способа производства, выше предельного значения, при котором обеспечивается работа электрофильтра без образования обратной короны. Поэтому их эффективность в названных условиях составляет 75—80 %, что вынуждает увлажнять газы после циклонов перед подачей их в электрофильтры. Увлажняют и охлаждают газы различными способами. Применяют специальные полые скруббер-стабилизаторы, в которых при входе устанавливают газораспределительные устройства и группу форсунок, распыляющих воду в потоке запыленных газов под давлением 2—3 МПа. Во избежание отложений в бункере и на стенках скруббера диаметр его с учетом угла раскрытия факела принимают таким (5—7 м), чтобы неспарившиеся капли влаги не попадали на стенки, а высота (25—35 м) определяется необходимостью полного испарения капель до выхода газов из скруббера. Такие установки для увлажнения и охлаждения печных газов сооружают как в нашей стране, так и за рубежом (рис. 7.2) [2, 17, 18, 75, 135]. Для печей сухого способа производства ряда цементных заводов Гипроцементом и НИПИОТстроном разработана и внедрена установка испарительного охлаждения печных газов перед электрофильтрами в вертикальном газоходе (рис. 7.3).

Частичное увлажнение и охлаждение газов, отходящих от современных печей сухого способа производства, а также из колосниковых холодильников, в последнее время осуществляют в сушильно-дробильных или в сушильно-помольных установках (рис. 7.4), используя тепло газов для подсушки влажных сырьевых материалов. Если влагосодержание и температура газов не достигают требуемых значений, газы предварительно увлажняют в кондиционере перед сырьевой мельницей (рис. 7.5).

По подобной схеме осуществляют обеспыливание газов мощных печей для обжига клинкера сухого способа производительностью свыше 3000 т/сут, а также работающих в одной линии сырьевых сушильно-помольных установок (валковых или шаровых мельниц либо сушильных барабанов).

В схему входит двухступенчатая пылеулавливающая установка в составе: кондиционер и двух- или трехпольный электрофильтр со встроенными жалюзийными или прямоточно-циклонными элементами, осаждающими 80 % поступающей пыли. Подобная схема позволяет очищать газы до конечной концентрации порядка 75 кг/м³. Однако по условиям компоновки сырьевых мельниц и печей приведенный способ не всегда

можно использовать на действующих заводах. В этом случае целесообразна установка водных форсунок у входа в четвертую ступень циклонного теплообменника.

Диспергирование воды при кондиционировании отходящих газов обычно осуществляют с помощью специальных форсунок при давлении 0,3—1 МПа. Однако с учетом того, что скорость испарения капли про-

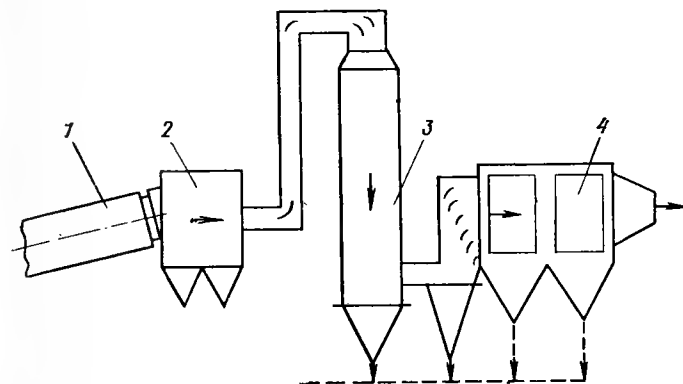


Рис. 7.2. Обеспыливающая установка за печью сухого способа производства цемента:

1 — печь; 2 — циклоны; 3 — скруббер-стабилизатор; 4 — электрофильтр

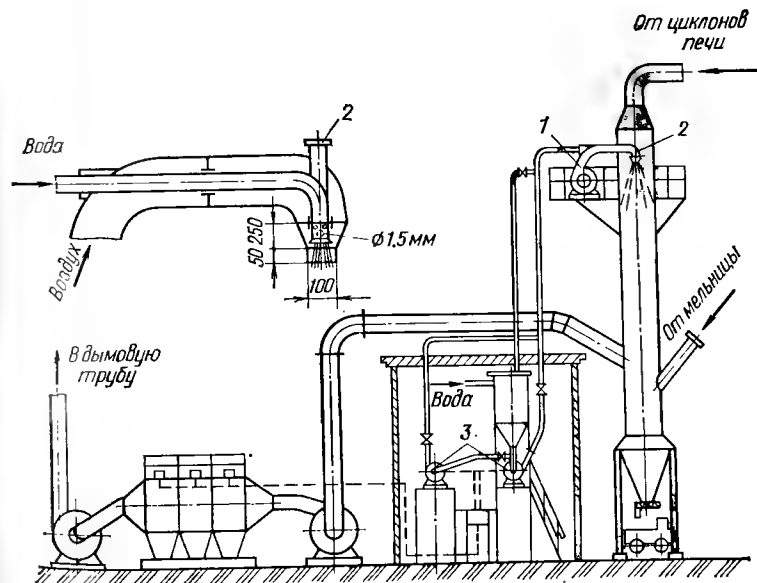


Рис. 7.3. Установка для испарительного охлаждения газов, отходящих из вращающейся печи сухого способа производства:

1 — насос; 2 — форсунка; 3 — насосы

порциональна квадрату ее размера, диспергирование воды в кондиционирующих установках печей сухого способа производства рационально осуществлять под давлением не менее 2 МПа. Скорость очищаемых газов в активной зоне электрофильтра должна находиться в пределах 0,8—1 м/с.

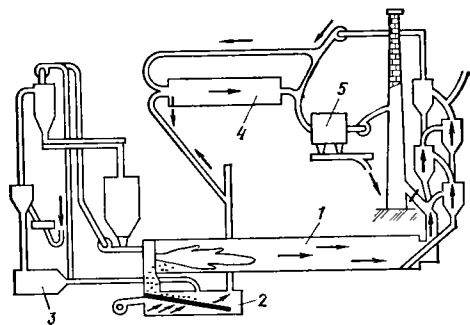


Рис. 7.4. Схема обеспыливания технологической линии сухого способа производства с одним электрофильтром (стрелками указано направление движения газов):

1 — печь; 2 — колосниковый холодильник; 3 — угольная мельница; 4 — сырьевая мельница; 5 — электрофильтр

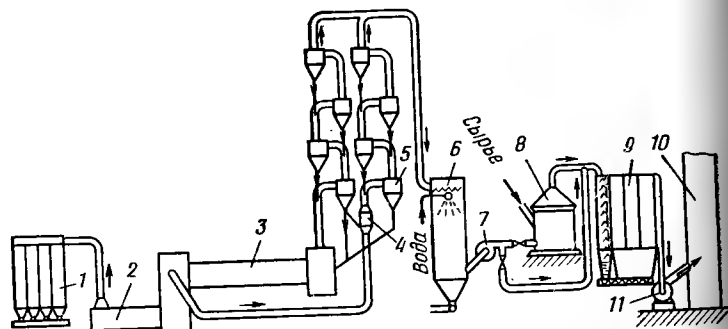


Рис. 7.5. Схема обеспыливания газов мощной вращающейся печи сухого способа производства, колосникового холодильника и сырьевой мельницы:

1 — рукавный фильтр; 2 — колосниковый холодильник; 3 — вращающаяся печь; 4 — декарбонизатор; 5 — циклонные теплообменники; 6 — кондиционер; 7 — дымосос печи; 8 — сырьевая мельница (валковая); 9 — электрофильтр; 10 — дымовая труба; 11 — вентилятор мельницы

При условии снижения УЭС кондиционированием и рекомендуемой скорости газов эффективность обеспыливания в электрофильтрах может достигать 99 % [2].

Обеспыливание воздуха колосниковых холодильников клинкера

Для обеспыливания избыточного воздуха клинкерных холодильников применяют электрофильтры, рукавные или зернистые фильтры. На первых этапах применения электрофильтров эффективность их работы была низкой и составляла 70—75 %, что объяснялось в первую очередь высоким удельным сопротивлением пыли, приводящим к возникновению в электрофильтре обратной короны. Для снижения УЭС до приемлемой

величины (10^6 Ом·м) применяют метод увлажнения газов перед электрофильтром.

Этот процесс осуществляют, применяя различные способы и устройства: в специальном полом скруббере, оснащенном распыливающими водными форсунками под давлением до 2,1 МПа и устанавливаемом перед электрофильтром; направляя избыточный воздух колосникового холодильника в сушильно-дробильную или сушильно-помольную установку для подсушки сырья или угля и одновременного увлажнения и охлаждения; распыляя воду под давлением примерно 0,5 МПа непосредствен-

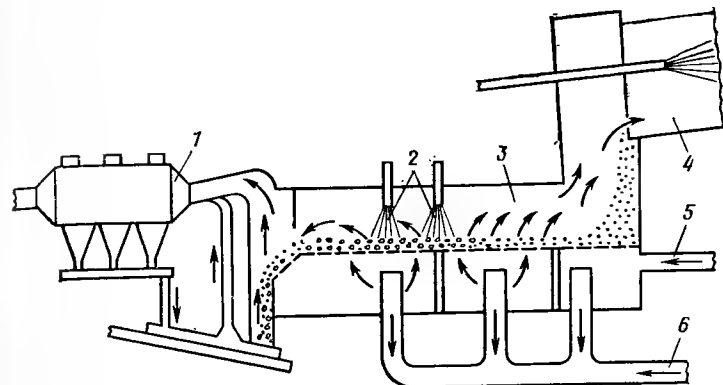


Рис. 7.6. Схема увлажнения избыточного воздуха колосникового холодильника печи перед электрофильтром:

1 — электрофильтр; 2 — подача воды; 3 — холодильник; 4 — печь; 5 — острое дутье; 6 — общее дутье

но в колосниковом холодильнике (в более холодной части) над клинкером (рис. 7.6).

В этом случае применяют центробежные механические форсунки с винтовыми завихрителями, введенные в холодильник сверху через отверстия в его своде. Форсунки защищены металлическим чехлом от контакта с горячим воздухом; в этот чехол подается воздух от вентилятора острого или общего дутья. Диаметр выходных отверстий форсунок около 6 мм, что позволяет использовать техническую воду. Установка оснащена системой автоматической блокировки и регулирования подачи в зависимости от температуры избыточного воздуха на выходе из холодильника. Подача воды в холодильник прекращается при остановке печи или холодильника либо при снижении температуры воздуха, отходящего из холодильника, ниже определенного значения.

В результате использования такой автоматической установки для регулирования подачи и распыливания воды (примерно 50—90 г на 1 кг клинкера) в холодильнике с увлажнением избыточного воздуха до влагосодержания 60—65 г/м³ (точка росы 40—45 °С) эффективность трехпольного электрофильтра типа УГ (при скорости в активной зоне до 15 м/с) составила 98,5—99,5 %. Это обеспечило принятую норму запыленности очищенного воздуха (ниже 100 мг/м³); входная запыленность достигла 10 г/м³, а температура избыточного воздуха при входе в электрофильтр не превышала 180 °С.

При подаче воды в холодильник может нарушаться технологический режим электрофильтра при колебаниях параметров пылегазового пото-

ка. Поэтому для обеспыливания избыточного воздуха колосниковых хо-
лодильников наряду с электрофильтрами применяются рукавные и зер-
нистые фильтры, так как их эффективность не зависит от величины УЭС
пыли.

Обеспыливание газов цементных мельниц. Высокая концентрация
пыли (до 500 г/м^3), повышенное значение УЭС и относительно низкое
влажностное содержание пылегазового потока создают определенные трудности

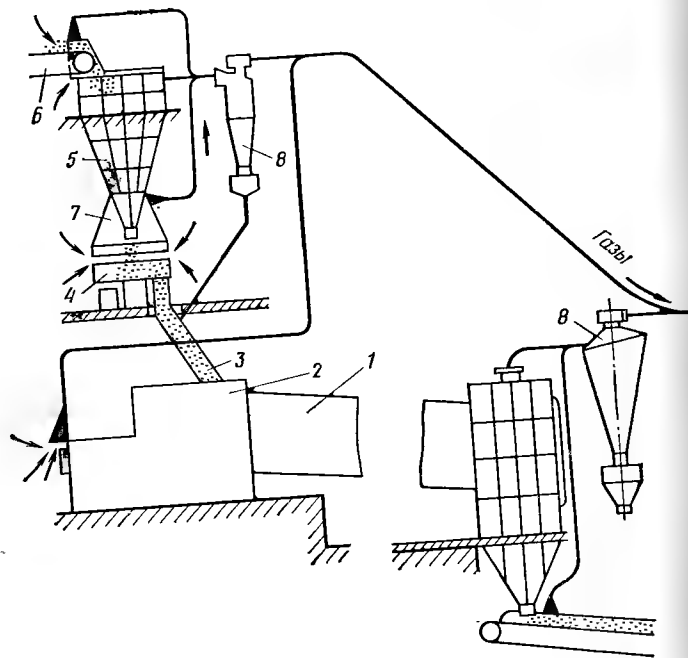


Рис. 7.7. Установка обеспыливания газов сушильного барабана:

1 — сушильный барабан; 2 — топка; 3 — течка; 4 — питатель; 5 — бун-
кер; 6 — конвейер; 7 — зонт; 8 — циклоны

для применения сухих электрофильтров. Поэтому распространение полу-
чили схемы с применением высокопроизводительных рукавных фильтров
с рукавами из гидрофобизированного и графитизированного фильтро-
вального материала.

Обеспыливание газов сушильных барабанов. В сушильных бараба-
нах создается непосредственный контакт высушиваемого материала с
горячими газами твердого топлива, сжигаемого в виде угольной пыли,
либо мазута и природного газа, сжигаемых в выносных топках или не-
посредственно в барабане. У разгрузочной части сушильного барабана
газы отсасываются из бункера и мест пересыпки на конвейер.

Обычно аспирационно-обеспыливающая система сушильного бара-
бана состоит из двухступенчатой пылеулавливающей установки. Первой
ступенью является циклон, эффективность которого составляет 65 %.

В качестве второй ступени применяют многопольные электрофильтры, а
при низкой температуре газов и высокой точке росы — ротоклоны.

При эксплуатации электрофильтров иногда возникают трудности в
связи с широким диапазоном колебаний запыленности газов и высоким
значением УЭС пыли, что влечет за собой возникновение обратной ко-
роны, а иногда залипание электродов при частых понижениях темпера-
туры до точки росы, связанных с остановками сушильного барабана. Во
избежание залипания электродов электрофильтры перед включением пи-
тателей сушильных устройств прогревают незапыленными газами. Для
эффективной работы электрофильтров стабилизируют режим работы су-
шильного барабана (ликвидируют подсосы по тракту, уплотняют места
выгрузки пыли из бункеров циклонов и электрофильтров). При скоро-
сти газа в активной зоне электрофильтра $0,8 \text{ м/с}$ эффективность аппара-
та составляет 95—98 %. На рис. 7.7 приведена схема аспирационнообес-
пыливающей системы прямоточного сушильного барабана.

7.3. ОЧИСТКА ГАЗОВ ЧУГУНОЛИТЕЙНЫХ ВАГРАНОК

Вагранки бывают открытого и закрытого типов и используются в ка-
честве плавильных агрегатов при плавке чугуна. Открытые чугунолитей-
ные вагранки имеют производительность, не превышающую 25 т/ч. Вы-
деление вредных веществ, загрязняющих атмосферный воздух, увеличи-
вается с ростом производительности вагранок при примерно постоянных
удельных выделениях на тонну выплаваемого металла. Значитель-
ное расхождение в выделении углеводородов объясняется применением
скрапа с различной степенью загрязненности (табл. 7.2).

Закрытые чугунолитейные вагранки производительностью 5—10 т/ч
при плавке чугуна выделяют вещества, аналогичные выделяемым откры-
тыми вагранками; в среднем на тонну выплаваемого чугуна величина
их составляет, кг/т (кг/ч): пыли 11,5 (86); окиси углерода 193 (1451);
сернистого ангидрида 0,4 (3,0); углеводородов 0,7 (5,2).

Кроме того, в процессе выпуска 1 т чугуна из вагранок в ковш вы-
деляется в атмосферу цеха около 126—130 г окиси углерода и 18—22 г
графитной пыли, удаляемых через фонарные проемы или через систему
общеобменной вентиляции. При разливе чугуна в формы выделяется в
атмосферу цеха окись углерода, количество которой зависит от массы
отливков [136, 137].

В зависимости от температуры дутьевого воздуха вагранки разде-
ляются на работающие без подогрева и с подогревом дутья; от способа
нагрева дутьевого воздуха — на вагранки с рекуперацией тепла отходя-
щих газов и с подогревом воздуха за счет дополнительного топлива в
обогреваемых теплообменниках; от способа расположения рекуперато-
ра — на вагранки со встроенным в шахту и с выносным рекуператором.
Имеются вагранки с футеровкой и без футеровки плавильной зоны и с
водяным охлаждением или без водяного охлаждения кожуха.

По виду топлива различают вагранки, работающие на коксе и газе
и на смешанном коксогозовом топливе; по способу отвода отходящих
газов — вагранки с отводом газов ниже или выше загрузочного окна.
Основными показателями вагранок являются внутренний диаметр шах-
ты, производительность и график работы [138]. На рис. 7.8 приведена
система очистки ваграночных газов с применением мокрого искрогаси-
теля. Газопылевой поток, выделяющийся из вагранок, работающих на
коксовом и коксогозовом топливе, содержит, % (объемн.): $5,5\text{--}28,5 \text{ CO}$;
 $5,2\text{--}16,2 \text{ CO}_2$; $0,025\text{--}0,5 \text{ SO}_2$; $0,7\text{--}2,7 \text{ H}_2$; $0,4\text{--}4,3 \text{ O}_2$; $\leq 12 \text{ H}_2\text{O}$.

ВЫДЕЛЕНИЕ ВЕЩЕСТВ, ЗАГРЯЗНЯЮЩИХ АТМОСФЕРУ

Производительность вагранок, т/ч	Количество газов, образующихся при плавке		Количество выделений			
			пыль (до искрогасителя)		окись углерода	
	тыс. м³/ч	тыс. м³/ч	кг/ч	кг/т	кг/ч	кг/т
2	2,0—2,6	1,00—1,30	36—44	18—22	360—440	180—220
3	2,8—3,6	0,93—1,20	54—66	18—22	540—660	180—220
4	3,6—4,6	0,90—1,16	72—88	18—22	720—880	180—220
5	4,6—5,8	0,90—1,16	90—110	18—22	850—1000	170—200
7	6,9—8,6	0,98—1,23	126—140	18—20	1240—1540	180—220
10	9,6—12,0	0,96—1,20	180—200	18—20	1700—1900	170—190
15	12,8—15,0	0,85—1,07	240—288	16—18	2400—3000	160—200
20	18,0—23,0	0,90—1,15	340—400	17—20	3400—4000	170—210
25	24,0—30,0	0,96—1,20	450—500	18—20	4500—5600	180—220

Пыль состоит из окислов железа, марганца, алюминия, кремния, кальция и других элементов. Дисперсный состав пыли (по массе) приведен ниже, %:

Размеры частиц, мкм:	Горячее дутье	Холодное дутье
0—5	16,6	—
5—10	13,3	2,4
10—25	16,0	6,2
25—50	13,2	21,8
>50	40,9	69,6
Итого:	100,0	100,0

Перед выбросом в атмосферу окись углерода в ваграночных газах дожигают. Дожигание осуществляют либо в рекуператоре, установленном до газоочистки или после нее, либо в специальной камере, в которой одновременно подогревают дутье. Камеру дожигания используют и для осаждения крупной пыли.

В СССР для обеспыливания газов открытых чугунолитейных вагранок наибольшее распространение получили сухие и мокрые искрогасители. Эффективность сухих искрогасителей составляет 25—30 %, а мокрых 50—85 %. На рис. 7.9 приведена система обеспыливания ваграночных газов с применением мокрых искрогасителей.

Несмотря на относительно низкую эффективность искрогасителей, в ряде случаев их рекомендуется применять: на вагранках производительностью до 5 т/ч, в режиме работы не свыше 2000 ч в год при одновременной работе не более одной вагранки; на ограниченный срок на вагранках, работающих вблизи селитебной зоны (при последующем использовании в качестве первой ступени аппарата тонкой очистки — рукавного фильтра, электрофильтра); в качестве первой ступени очистки и охлаждения ваграночных газов в системах тонкой очистки.

ТАБЛИЦА 7.2

ПРИ ПЛАВКЕ ЧУГУНА В ОТКРЫТЫХ ВАГРАНКАХ

Лаемых ингредиентов					
сернистый ангидрид		углеводороды		окислы азота	
кг/ч	кг/т	кг/ч	кг/т	кг/ч	кг/т
2,5—3,4	1,3—1,7	0,3—5,2	0,15—2,60	0,025—0,032	0,012—0,016
3,6—4,5	1,2—1,5	0,4—7,2	0,13—2,40	0,035—0,045	0,012—0,015
4,6—5,9	1,2—1,5	0,5—9,2	0,12—2,30	0,045—0,057	0,011—0,014
5,9—7,5	1,2—1,5	0,6—10,8	0,12—2,20	0,056—0,073	0,011—0,015
9,7—11,1	1,4—1,6	1,0—17,2	0,15—2,40	0,086—0,107	0,012—0,015
12,4—15,4	1,2—1,5	1,3—22,0	0,13—2,20	0,120—0,150	0,012—0,015
16,5—20,6	1,1—1,4	1,7—32,0	0,11—2,10	0,160—0,200	0,011—0,013
23,2—36,0	1,1—1,8	2,4—46,0	0,12—2,30	0,225—0,340	0,011—0,017
30,9—38,6	1,2—1,5	3,2—60,0	0,13—2,40	0,300—0,375	0,012—0,015

В табл. 7.3 приведен технологический регламент на проектирование типоразмерного ряда мокрых искрогасителей для вагранок открытого типа производительностью 3—20 т/ч [136].

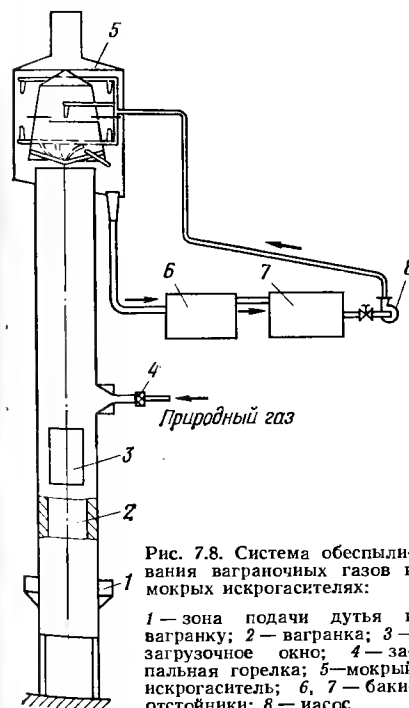


Рис. 7.8. Система обеспыливания ваграночных газов в мокрых искрогасителях:

1 — зона подачи дутья в вагранку; 2 — вагранка; 3 — загрузочное окно; 4 — запальная горелка; 5 — мокрый искрогаситель; 6, 7 — баки-отстойники; 8 — насос

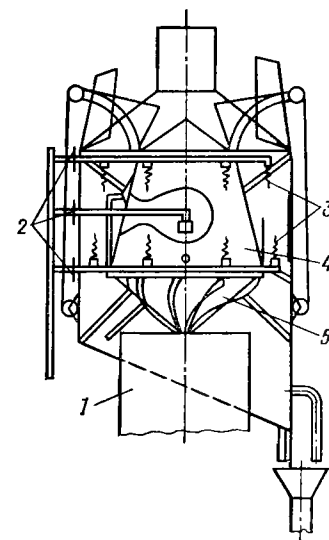


Рис. 7.9. Мокрый искрогаситель: 1 — шихта; 2 — система орошения; 3 — форсунки; 4 — отбегатель; 5 — конус отбегателя

ТАБЛИЦА 7.3

ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЙ РЕГЛАМЕНТ НА ПРОЕКТИРОВАНИЕ
ТИПОРАЗМЕРНОГО РЯДА МОКРЫХ ИСКРОГАСИТЕЛЕЙ

Параметры	Производительность вагранки, т/ч					
	3	3	5	10	20	20
Диаметр трубы вагранки, мм	1100	1200	1400	1700	2200	1900
Габаритные размеры корпуса пылеуловителя, мм:						
диаметр	2000	2000	2300	2800	3600	3300
высота (без трубы)	37 500	37 500	50 000	56 000	65 000	60 000
Система подачи воды:						
количество коллекторов	1	1	2	2	2	2
количество форсунок в коллекторе	6	6	6	8	10	10
Диаметр дымовой трубы (без люков), мм	650	700	1000	1200	1500	1500
Высота трубы, мм	1500	1500	2000	2500	2500	2500
Масса с площадками обслуживания т	3,0	3,2	4,8	6,8	14,2	11,5
Расход оборотной воды, м³/ч	14—18	14—18	20—28	41—55	82—112	82—112

В качестве второй ступени обеспыливания ваграночных газов рекомендуются скрубберы Вентури (Рязанский завод «Центролит» и Минский автомобильный завод), ротоклоны (Московский электромеханический завод им. Владимира Ильича, ПО «Автозил»).

Система очистки газов вагранки производительностью 7—8 т/ч на Рязанском заводе «Центролит» состояла из последовательно установленных двухходовой орошаемой пылевой камеры с двумя ярусами форсунок, скруббера Вентури с подачей воды в конфузор, инерционного шламоотделителя, каплеуловителя и рекуператора. При начальной концентрации пыли в газе 6—15 г/м³ и газодинамическом сопротивлении скруббера Вентури 6 кПа запыленность на выходе равна 0,7—1,7 г/м³.

За 20-т вагранкой Минского автозавода сооружена установка, состоящая из установленных последовательно узла дожигания, мокрого искрогасителя конструкции БПИ НИИОгаза и скруббера Вентури.

Техническая характеристика системы:

Расход, м³/ч:	
природного газа на дожигание	60—70
очищаемых газов	60000

Продолжение

оборотной воды на скруббер Вентури 70—75

Концентрация пыли, г/м³:	
перед искрогасителем	6,0—20,0
перед скруббером Вентури	0,55
на выходе из скруббера Вентури	0,03—0,04

При гидравлическом сопротивлении скруббера Вентури 25 кПа (удельное орошение мокрого искрогасителя составляло 2 л/м³; скруббера Вентури 1,25 л/м³) концентрация пыли составила 30—40 мг/м³.

За 20-т открытой чугунолитейной вагранкой ПО «Автозил» испытана система: мокрый искрогаситель — пять параллельно установленных ротоклонов (три ротоклона типа МГЦ-3/4 и два типа ПВМ-20С). Концентрация взвешенных частиц в газе на выходе из ротоклона составляет в среднем 0,5 г/м³.

Сухая циклонная очистка ваграночных газов опробована на установке, сооруженной для очистки газов, отходящих от 5-т открытой вагранки. Установка включала камеру дожигания, два параллельно установленных скруббера с конфузорным подводом газа и циклон с повышенным гидравлическим сопротивлением. В камере дожигания осуществлялось практически полное дожигание углерода и улавливание крупной фракции ваграночной пыли (на 68 %). Скрубберы с конфузорным подводом газа при удельном орошении 0,017 л/м³, работающие в режиме полного испарения, обеспечили охлаждение газа с 400 до 280 °С. При работе циклонов со скоростью газа в сечении аппарата 1,5—1,6 м/с и гидравлическом сопротивлении 4,8—5,0 кПа концентрация пыли на выходе из установки составляла 0,37 г/м³. Эта система может быть использована для очистки газов открытых чугунолитейных вагранок в случае отсутствия на заводе водного хозяйства. Однако она требует сооружения фильтров на водяных магистралях и установки узлов блокировки температуры очищаемого газа и расхода орошающей жидкости, подаваемой на скрубберы с конфузорным подводом газа [136].

Для обезвреживания оксида углерода ваграночных газов на заводах страны получило распространение термическое дожигание. Дожигание осуществляется с помощью угловой инжекционной горелки среднего давления, установленной на расстоянии примерно 1 м выше верхнего среза завалочного окна. В горелку подается природный газ в количестве 13—16 м³/ч под давлением 2·10⁴ Па. Узел дожигания, помимо основной горелки, включает также непрерывно действующую инжекционную горелку производительностью 3—5 м³/ч и нихромовую спираль постоянного накала до температуры 800—850 °С. Устройство для дожигания ваграночных газов включает хромель-алюмелевую термопару и милливольтметр для контроля за наличием пламени и горением ваграночных газов. При «срыве» факела специальная система автоматики подает звуковой и световой сигналы, а через 30 с, если не восстановится горение, производит отклонение подачи природного газа. При включенной газовой горелке и наблюдении рабочего режима вагранки обеспечивается практически полное дожигание ваграночных газов. Расход природного газа на дожигание составляет от 1 до 3 м³ на тонну выплавляемого чугуна.

Применение мокрых искрогасителей для очистки ваграночных газов допускается лишь за кратковременно работающими малотоннажными вагранками. В остальных случаях мокрые искрогасители рекомендуются использовать в качестве первой ступени — очистки, а тонкую очистку ваграночных газов проводить в скрубберах Вентури.

Для обезвреживания оксида углерода ваграночных газов рекомендована система термического дожигания, осуществляемого с помощью инжекционной горелки среднего давления, устанавливаемой выше заварочного окна. Наиболее распространенные схемы очистки ваграночных газов показаны на рис. 7.10.

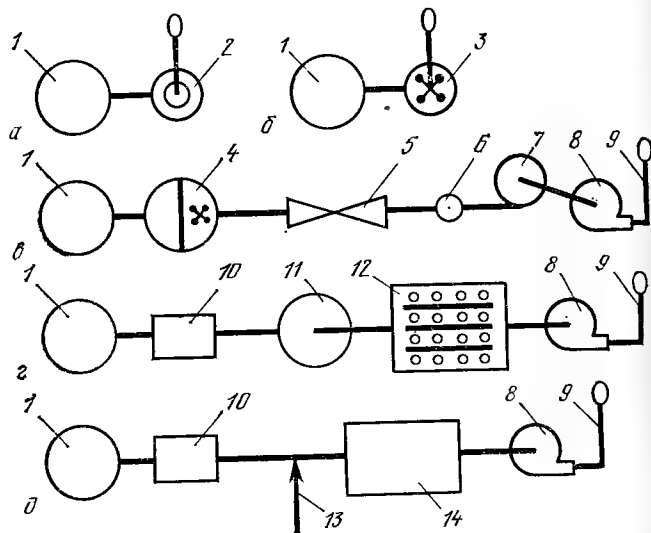


Рис. 7.10. Принципиальные схемы очистки ваграночных газов:

а — в сухих искрогасителях; б — в мокрых искрогасителях; в — в установках с трубами Вентури; г — в сухих горизонтальных электрофильтрах; д — в рукавных фильтрах; 1 — вагранка; 2 — сухой искрогаситель; 3 — мокрый искрогаситель; 4 — инерционный пылеуловитель с орошением или полый скруббер; 5 — труба Вентури; 6 — инерционный шламоуловитель; 7 — циклон; 8 — дымосос; 9 — дымовая труба; 10 — устройство для дожигания окиси углерода; 11 — полый скруббер; 12 — электрофильтр; 13 — патрубок для подсоса воздуха; 14 — рукавный фильтр

7.4. ОЧИСТКА ГАЗОВ АГЛОМЕРАЦИОННОГО ПРОИЗВОДСТВА

Источниками загрязнения воздушного бассейна на аглофабриках являются агломерационные ленты, барабанные и чашечные охладители агломерата, обжиговые печи, узлы пересыпки, транспортировки, сортировки агломерата и компонентов, входящих в состав шихты для приготовления агломерата (руды, кокса, известняка и других материалов) [139]. На агломашине одновременно происходят процессы спекания и охлаждения агломерата. Зоны спекания и охлаждения оборудуют отдельными газоочистками. При этом горизонтальный коллектор обычно разделяют сплошной перегородкой или делают с отдельными секциями (рис. 7.11). При получении 1 т агломерата выход агломерационных газов составляет 2500—4000 м³ с содержанием пыли от 5 до 60 г/м³. В очищенном газе, выбрасываемом из дымовой трубы, концентрация пыли должна быть не более 70 мг/м³.

Газы, отсасываемые от аглоленты из зоны спекания всех видов

рудного сырья, имеют следующий усредненный химический состав, % (объемн.): 4—10 CO₂; 12—17 O₂; 0,3—3,0 CO; 0,01—0,09 SO₂+SO₃ при малосернистых и 0,1—0,6 SO₂+SO₃ при сернистых рудах; остальное N₂ и инертные газы. В зоне охлаждения агломерата от агломашин отсасывается атмосферный воздух. Агломерационная пыль при спекании железорудного агломерата состоит из железа и его окислов, окислов марганца, магния и фосфора. При спекании марганцевого агломерата пыль содержит марганец и его окислы, железо, окислы кремния и каль-

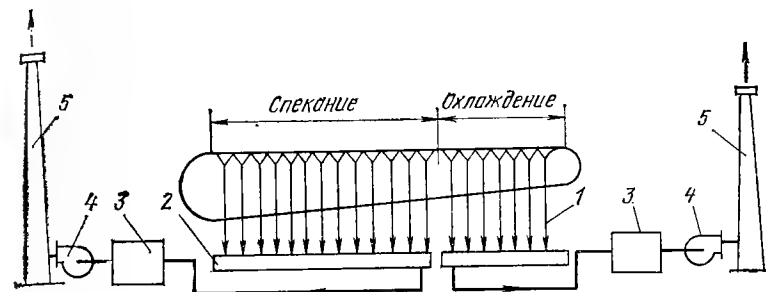


Рис. 7.11. Схема отвода агломерационных газов от агломерационных машин новых аглофабрик:

1 — стояки вакуум-камер; 2 — коллектор; 3 — газоочистка; 4 — дымосос; 5 — дымовая труба

ция, следы титана и его окислов и мышьяка. Плотность агломерационной пыли составляет 3,7—4 г/см³. Дисперсный состав пыли после коллектора зоны спекания характеризуется следующими данными:

Размер частиц, мкм	0—4	4—7	7—10	10—16	16—25
Содержание, % (по массе)	4	2	2	2	7
Размер частиц, мкм	25—40	40—50	50—68	>68	
Содержание, % (по массе)	8	14	4	57	

Для нормальной работы дымососов при очистке газа в пылеуловителях мокрого типа запыленность его перед дымососами должна быть не более 70 мг/м³. При спекании на агломашине марганцевых и свинец-содержащих руд запыленность очищенного газа не должна превышать 30 мг/м³.

На работающих агломерационных фабриках эксплуатируются различные по составу и конструкции аппараты и системы для очистки агломерационного газа (рис. 7.12).

На старых агломерационных фабриках газы, отводимые от зон спекания и охлаждения агломерата, после коллектора поступают на очистку в батарейные циклоны (см. рис. 7.12, а). Эффективность их работы составляет 70—80 %; по мере абразивного износа отдельных элементов батарейных циклонов эффективность работы снижается еще больше. На некоторых металлургических заводах за агломерационными машинами после коллектора установлены мокрые прутковые центробежные скрубберы типа МП-ВТИ (см. рис. 7.12, б), футерованные изнутри базальтовыми плитами. Однако в процессе работы прутковые решетки скрубберов быстро зарастают отложениями пыли, что приводит к по-

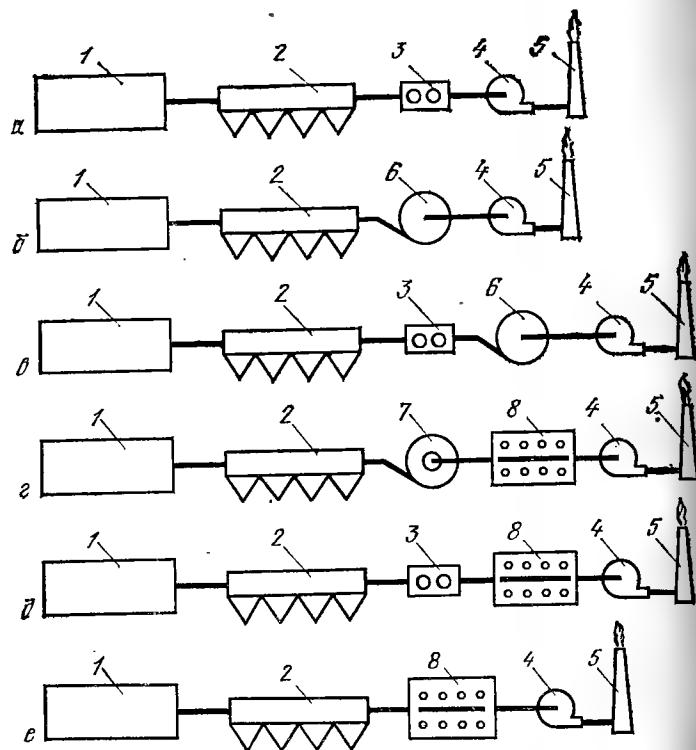


Рис. 7.12. Принципиальные схемы очистки газов агломерационных машин:

1 — агломерационная машина; 2 — коллектор; 3 — батарейный циклон; 4 — дымосос; 5 — дымовая труба; 6 — центробежный скруббер; 7 — циклон; 8 — электророльфитр

вышению сопротивления газового тракта и ухудшению спекания агломерата.

Форсирование режима спекания агломерата, увеличение содержания тонкомолотых концентратов в шихте и возросшие требования к очистке агломерационных газов потребовали изыскания более эффективных способов очистки их. На ряде аглофабрик за батарейными циклонами установили центробежные скрубберы (см. рис. 7.12, в). На металлургическом комбинате «Запорожсталь» и ряде других предприятий для очистки агломерационных газов применены трубы Вентури (рис. 7.13, а). После коллектора 1 газ поступает в блок из четырех низконапорных (до 2000 Па) труб Вентури 2, в которых осуществляется коагуляция пыли. Удельный расход воды на орошение труб Вентури 0,3—0,5 л/м³ под давлением (2,9—3,9) 10⁵ Па. Очистка газа от капель воды и укрупненной пыли проходит в инерционном пылеуловителе 3 и установленных за ним центробежных циклонов 4.

На аглофабрике Карагандинского металлургического комбината и некоторых других новых аглофабриках для очистки агломерационного

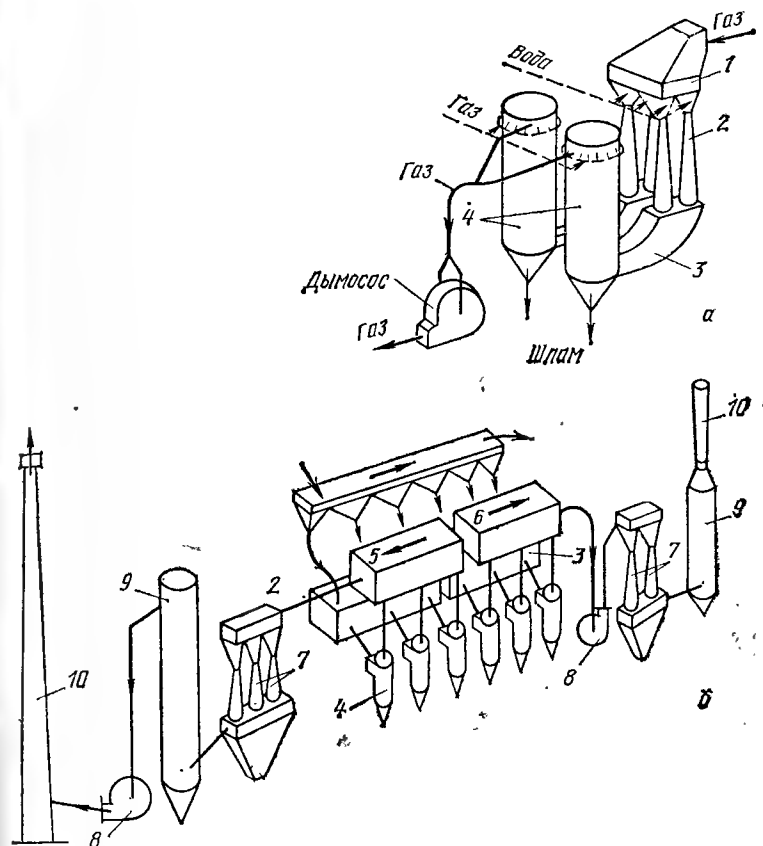


Рис. 7.13. Установки очистки газов агломерационных машин:

а — в трубах Вентури; б — с отводом и очисткой газов в мокрых аппаратах; 1 — вакуум-камеры; 2 — коллектор зоны спекания; 3 — коллектор зоны охлаждения; 4 — циклоны; 5 — коллектор-газосборник зоны спекания; 6 — коллектор-газосборник зоны охлаждения; 7 — блок труб Вентури; 8 — дымосос; 9 — центробежный скруббер; 10 — труба

газа используют более совершенные системы, состоящие из циклонов типа ЦН-15 и блока низконапорных труб Вентури (рис. 7.13, б). После вакуум-камер запыленный газ попадает в коллекторы, из которых поступает в одиночные циклоны; их число соответствует числу вакуум-камер. Очищенный в циклонах газ направляется в коллекторы-газосборники и далее в блок труб Вентури и центробежный скруббер.

Недостатком мокрых пылеуловителей является необходимость создания водно-шламового хозяйства и защиты аппаратов от залипания, абразивного износа и коррозии. Отложения на стенках газоходов, аппаратов и в дымососах возникают в результате взаимодействия активной извести с сернистым ангидридом и углекислым газом, входящими

в состав агломерационных газов и образующими нерастворимые в воде сульфат и карбонат кальция, которые разрушают футеровку корпусов аппаратов, приводят к зарастанию газоходов и вызывают дебаланс и выход из строя дымососов.

Высокая энергоемкость мокрой очистки газов и трудности утилизации уловленной в виде шлама пыли делают целесообразным применение сухих высокоэффективных аппаратов, в частности горизонтальных электрофильтров, которые нашли широкое применение как за рубежом, так и в отечественной практике. Электрофильтры для очистки технологических газов и аспирационного воздуха агломерации введены на Качканарской аглофабрике, Южном горно-обогатительном комбинате, Руставском металлургическом заводе и др. Эксплуатация систем очистки газов с применением сухих горизонтальных электрофильтров позволила получить необходимую степень очистки газов от пыли (остаточная запыленность газов составляет около $0,1 \text{ г/м}^3$, что свидетельствует о перспективности строительства таких систем).

На Южном ГОКе были проведены сравнительные испытания двухступенчатой схемы очистки газов, включающей батарейный циклон БЦ 254Р/486 и два параллельно включенных электрофильтра, и одноступенчатой схемы, из которой были исключены батарейные циклоны. Пылегазовый поток поступал в схему очистки с температурой $120\text{--}160^\circ\text{C}$ при средней запыленности 5 г/м^3 . Медианный размер частиц составлял 16 мкм , УЭС пыли $1,3 \cdot 10^6 \text{ Ом} \cdot \text{м}$.

Результаты испытаний показали, что двухступенчатая система очистки в целом давала худшие результаты ($92\text{--}95\%$ в зависимости от скорости газа при эффективности батарейного циклона 87%), чем одноступенчатая (эффективность $95,5\%$). Причиной этого является отделение в циклоне крупных частиц, имеющих относительно низкое УЭС, в результате чего сопротивление слоя высокодисперсной пыли на осадительных электродах повышалось до $10^{10} \text{ Ом} \cdot \text{м}$, и электрофильтр работал в режиме интенсивной обратной короны. Толщина трудноотряхиваемых отложений высокоомной пыли на осадительных электродах достигала 20 мм . При поступлении в электрофильтр не сепарированной в циклоне пыли обеспечивается хорошая регенерация как осадительных, так и коронирующих электродов. Кроме того, при одноступенчатой очистке газов в электрофильтре улучшаются условия работы эксгаустера, который работает при более низкой запыленности.

Результаты проведенных исследований позволили рекомендовать для очистки агломерационных газов от пыли применение электрофильтров без предварительного отделения крупных частиц в циклоне [136].

При разгрузке агломашин, дроблении, грохочении и транспортировке агломерата выделяется до 4 кг пыли на тонну продукта. Большинство аспирационных систем хвостовой части агломашин оборудовано мокрыми пылеуловителями с использованием скрубберов и труб Вентури. В последнее время стали применяться сухие способы очистки газов в вертикальных электрофильтрах. На аглофабрике Череповецкого металлургического комбината для очистки аспирационного воздуха агломашин АКМ-312 установлено восемь вертикальных электрофильтров ДВП. Здесь в общем коллекторе смешиваются аспирационный воздух различных участков: мест загрузки шихты в комкователь, дробилки, грохота, пересылки агломерата на конвейеры, укрытия хвостовой и головной части линейного охладителя и др. НИИГазом проведены исследования эффективности работы указанной системы очистки газов, поступающих в электрофильтр с температурой $110\text{--}115^\circ\text{C}$.

Несмотря на то что УЭС пыли изменялось в пределах $(1\text{--}8) \times 10^{10} \text{ Ом} \cdot \text{м}$, при скорости газа в электрофильтре $0,75 \text{ м/с}$ достигнута высокая степень очистки воздуха $99,4\%$, при этом запыленность газа на

выходе из электрофильтра составляла всего $7\text{--}13 \text{ мг/м}^3$. Повышение скорости газа в аппарате до $1,15 \text{ м/с}$ привело к снижению эффективности до $96,8\%$, а при повышении скорости до $1,5 \text{ м/с}$ эффективность очистки уменьшилась до $91,7\%$.

При спекании агломерата из шихты в агломерационный газ переходит более 90% серы в виде диоксида серы, концентрация которого в зависимости от содержания серы в шихте изменяется от $0,1$ до 25 г/м^3 в весовом и от $0,1$ до $1,0\%$ в объемном выражении.

На агломерационных фабриках Магнитогорского металлургического комбината с 1966 г. эксплуатируются промышленные сероулавливающие установки (всего таких систем 21). Каждая установка состоит из дымососа, полого скруббера, циркуляционного сборника, в который подается свежая известняковая суспензия, циркуляционных насосов, фильтров для отделения от суспензий твердых включений. Основным аппаратом системы сероулавливания является полый скруббер, представляющий собой вертикальную башню из углеродистой стали диаметром $6,3$ и высотой 20 м . Производительность скруббера до $200000 \text{ м}^3/\text{ч}$, скорость газа 3 м/с , плотность орошения $50 \text{ м}^3/(\text{м}^2 \cdot \text{ч})$. Эффективность очистки газа от SO_2 в этих условиях достигает $80\text{--}85\%$.

Донецким филиалом ВНИПИчерметэнергоочистки предложено улавливать диоксид серы из агломерационных газов в рукавном фильтре одновременно с пылью. Используется способность агломерационной пыли адсорбировать диоксид серы при прохождении его через слой пыли, осевшей на ткани.

На Макеевском металлургическом комбинате испытан рукавный фильтр, оснащенный стеклотканью. Регенерация рукавов осуществлялась обратной продувкой очищенным газом. При запыленности газа $4\text{--}5 \text{ г/м}^3$ и при скорости фильтрации 1 м/мин эффективность улавливания диоксида серы составила в среднем 62% и с увеличением скорости постепенно снижалась. Эффективность улавливания пыли достигала в этих условиях $98,7\%$.

На базе испытаний предложена схема обеспыливания агломерационного газа с одновременной очисткой от диоксида серы и утилизацией уловленной пыли, из которой предварительно десорбируется уловленный диоксид серы путем нагрева. В качестве теплоносителя для десорбера рекомендовано использовать тепло охлаждения агломерата.

Технико-экономическое сравнение сухого и мокрого способов сероочистки (известково-известняковой суспензией в полых форсуночных скрубберах) показало, что мокрый способ при одинаковой эффективности значительно дороже сухого.

7.5. ОБЕСПЫЛИВАНИЕ ГАЗОВ ПРИ ПРОИЗВОДСТВЕ ОКАТЫШЕЙ

Процесс обжига окатышей в обжиговых машинах сопровождается выделением большого количества пыли, уносимой газами. С 1 м^2 полезной площади машины выделяется $63\text{--}97 \text{ м}^3/\text{мин}$ газов в зависимости от типа обжиговой машины и технологического процесса обжига окатышей.

В процессе обжига окатышей с целью экономии тепла часть газа, выделяющегося из зоны рекуперации и охлаждения, подвергают грубой очистке от пыли и вентилятором подают в зоны сушки и обжига, расположенные в головной части машины. Температура газов в зависимости от места их отвода от агломашин составляет $140\text{--}200^\circ\text{C}$ в зонах тракта сброса в атмосферу, сушки и подогрева и 350°C в зонах обжига и рекуперации тракта рециркуляции. Средний состав газов, выделяющихся из зоны тракта сброса в атмосферу, $\%$ (объемн.): $2,17\text{--}3,67 \text{ CO}_2$;

75,0—77,7 N₂; 15,0—20,7 O₂; 1,60—5,72 H₂; 0,1 CO. При серосодержащих рудах в газе может находиться 0,03—0,20 % SO₂. Состав газа, выделяющегося из тракта рециркуляции, %: 77,7 N₂; 20,7 O₂; 1,6 H₂. Запыленность газа 2,5—4 г/м³; пыль содержит окислы железа, кремния, алюминия, кальция и магния. Плотность пыли 3,5—5,1 г/см³. Дисперсный состав пыли, содержащейся в газе в зонах сушки, подогрева и обжига, характеризуется следующими данными:

Размер частиц, мкм	0—5	5—10	10—20	20—30	30—43	43—63	63
Содержание, %							
(по массе)	2,0	11,4	16,7	19,8	13,2	22,08	14,82

Пыль, содержащаяся в газе тракта рециркуляции, в основном крупная. Разрежение в газовом тракте перед газоочисткой составляет (3—4,6) · 10³ Па.

Тракт сброса газа в атмосферу и тракт рециркуляции обжиговой машины имеют отдельные газоочистки. На некоторых металлургических заводах еще применяют батарейные циклоны (рис. 7.14, а). На реконструируемых и новых машинах обжига окатышей эксплуатируют газо-

очистки, в которых после горизонтального коллектора установлены сухие пластинчатые горизонтальные трехпольные электрофилтры (рис. 7.14, б). При установке более одного электрофилтра между горизонтальным коллектором и электрофилтрами помещают вертикальный газораспределительный коллектор с бункером для сбора пыли (рис. 7.14, в), который является ступенью второй ступени грубой очистки газа. Такая газоочистка работает на Качканарской фабрике окомкования. При отсутствии габаритов для размещения электрофилтров для обжиговых машин, работающих на малосернистых рудах, после газового коллектора располагают низконапорные трубы Вентури и центробежный скруббер (рис. 7.14, г). Для очистки газов от машин, работающих на сернистых рудах, при запыленности до 1 г/м³ после коллектора устанавливают последовательно циклоны типов ЦН-24 и ЦН-11 или СК-ЦН-34 (рис. 7.14, д). На тракте рециркуляции для очистки газа после коллектора в основном устанавливают сухие центробежные циклоны (рис. 7.14, е) [139].

7.6. ОЧИСТКА ДОМЕННОГО ГАЗА

Состав и основные характеристики доменного газа зависят от шихты и хода плавки и могут в значительной степени изменяться. Доменный газ загрязнен колошниковой пылью, которая представляет смесь мелких частиц руды, кокса, агломерата, известняка и других материалов, загружаемых в доменную печь.

Пыль образуется в результате механического измельчения материала при их приготвлении, транспортировке, загрузке и истирании при движении в шахте печи. Вынос пыли из печи обусловлен увлечением мелких частиц потоком газа, проходящим сквозь слой шихты, а также возгонкой некоторых элементов шихты, т.е. превращением их в паробразное состояние под действием высоких температур.

Современные доменные печи обычно работают с расходом природного газа 80—120 м³ на 1 т чугуна и дутьем, обогащенным кислородом до 35 %. При этом влажосодержание доменного газа составляет 70—100 г/м³ сухого газа (точка росы 42—49 °С при давлении 0,1 МПа).

Химический состав газа изменяется в следующих пределах, % (объемн.): 25—30 CO; 12—18 CO₂; 2—7 H₂; до 0,5 CH₄; 47—57 N₂. Теплота сгорания доменного газа составляет 700—900 ккал/м³.

Температура газа, поступающего на газоочистку при работе печей на повышенном давлении, составляет 200—300 °С. Наблюдаются кратковременные повышения температуры до 500 °С при выплавке спецчугунов (литейного, ферросилиция, ферромарганца) температура газа выше, чем при выплавке пердеельного чугуна, и составляет 300—400 °С.

Перевод доменных печей на работу с повышенным давлением газа на колошнике, уменьшение в связи с этим скорости отвода газа, обогащение кислородом воздушного дутья, замена в шихте сырой железной руды агломератом или окатышами приводят к значительному снижению запыленности доменного газа и изменению фракционного состава пыли (уменьшению размеров частиц пыли). В этих условиях запыленность доменного газа на выходе из печи колеблется в пределах 5—20 г/м³ в зависимости от давления под колошником. Колошниковая пыль состоит в основном из тяжелых и крупных частиц железной руды и кокса с размерами частиц, превышающими 50 мкм (около 70 %), а также из очень мелких частиц соединений кремния, алюминия, магния, кальция и др., образованных возгонкой при высокой температуре.

Повышение давления отходящего доменного газа позволяет использовать потенциальную энергию отходящего сжатого газа в газовых ути-

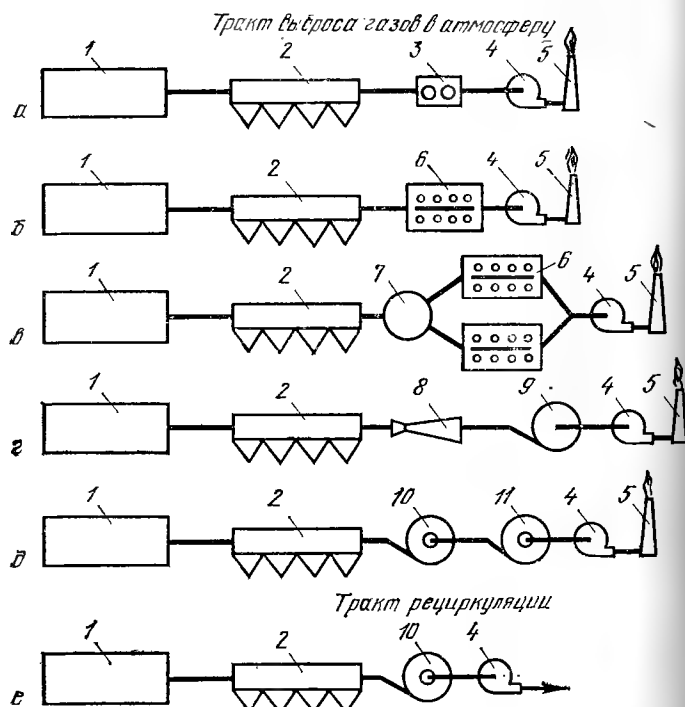


Рис. 7.14. Принципиальные схемы очистки газов машин обжига окатышей: 1 — обжиговая машина; 2 — горизонтальный коллектор; 3 — батарейный циклон; 4 — дымосос; 5 — труба; 6 — электрофилтр; 7 — вертикальный коллектор; 8 — низконапорная труба Вентури; 9 — центробежный скруббер; 10 — циклон ЦН-24; 11 — циклон ЦН-11 или СК-ЦН-34

лизационных бескомпрессорных турбинах (ГУБТ). При этом себестоимость получаемой электроэнергии оказывается достаточно низкой. Так, по данным Череповецкого металлургического комбината, себестоимость 1 кВт·ч электроэнергии составляет 0,3 коп. [29].

Опыт эксплуатации ГУБТ на Магнитогорском, Череповецком и Криворожском металлургических комбинатах показывает, что для надежной работы турбин, исключающей выпадение влаги в их хвостовой части, температура газа на выходе из турбины должна превышать точку росы. Поэтому минимальная входная температура на работающих в настоящее время ГУБТ ($P=0,3$ МПа) принята равной 120°C . Так как для очистки доменного газа применяются схемы мокрой очистки, то перед подачей газа в ГУБТ его необходимо подогревать.

Главным недостатком смешивающего подогрева для ГУБТ является балластирование горячего газа продуктами сгорания. Поверхностные нагреватели не нашли применения из-за их громоздкости и сложности эксплуатации, связанной с возможностью образования отложений пыли на поверхности теплообмена. На это указывает и опыт эксплуатации ГУБТ, когда при размещении смешивающего подогревателя непосредственно перед турбиной пыль не успевает высохнуть, и даже при малой запыленности газа (5 мг/м^3) в направляющем аппарате турбины наблюдаются отложения пыли. Так как доменный газ широко используется на металлургических заводах в основном в качестве топлива, допустимая величина содержания пыли в очищенном газе не должна превышать 4 мг/м^3 (ТУ14-7-23—73).

Потребители доменного газа — коксовые печи, воздушонагреватели доменных печей, а в последнее время в связи с широким внедрением газорасширительных станций, использующих энергию доменного газа для выработки электроэнергии, газовые утилизационные бескомпрессорные турбины. Для ограничения количества влаги в подаваемом потребителям доменном газе охлаждение его осуществляется до температуры не ниже $35\text{--}40^\circ\text{C}$ при давлении 0,1 МПа (влажность $47\text{--}63 \text{ г/м}^3$). Это связано с тем, что выпадающая из газа влага способствует коррозии металла газоходов и является причиной затвердевания отложений пыли на оборудовании. Повышенное содержание влаги снижает calorificity доменного газа и увеличивает потери тепла с отходящими газами.

Разработаны две схемы очистки — мокрая и сухая. По мокрой схеме (рис. 7.15) газ из колошника 2 доменной печи 1 по газоходу 3 отводится в систему газоочистки. В сухом пылеуловителе 4 инерционного или центробежного типа доменный газ очищается от крупной пыли до конечного пылесодержания $5\text{--}10 \text{ г/м}^3$. Пыль удаляется из бункера пылеуловителя периодически в железнодорожный вагон через устройство, состоящее из отсечного клапана, шнекового транспортера и системы подачи воды или пара для увлажнения пыли. В полом скруббере 5 газ охлаждается и очищается от крупной пыли. Запыленность доменного газа после полого скруббера составляет $2\text{--}4 \text{ г/м}^3$, а иногда меньше.

Окончательная очистка доменного газа осуществляется в скоростном пылеуловителе с трубами Вентури. В трубе или трубах Вентури 6 (в зависимости от объема доменной печи) происходит укрупнение мелкодисперсной пыли. Наиболее крупная пыль и капли жидкости выводятся из газа в инерционном пыле- и брызгоуловителе 7, а окончательная очистка газа от пыли до требуемого конечного пылесодержания осуществляется в центробежном скруббере 9. Очищенный газ отводится в коллектор чистого газа 10, откуда подается потребителям. Для повышения давления газа в доменной печи перед центробежным скруббером установлена дроссельная группа 8. Все аппараты, расположенные между доменной печью и дроссельной группой, работают под по-

вышенным давлением газа, поэтому их конструкцию делают жесткой, способной выдерживать это давление. Дроссельную группу в зависимости от ее конструкции устанавливают на горизонтальном или вертикальном участках газопровода.

Для схем доменной газоочистки характерны конструктивные особенности, которые зависят от местных условий, числа доменных печей, а также от способа использования энергии доменного газа. В том случае, если для коагуляции пыли вместо труб Вентури используется дроссельная группа, схема газоочистки упрощается (рис. 7.16, а). При использовании ГУБТ применяют систему газоочистки, изображенную на рис. 7.16, б.

В схеме газоочистки доменной печи объемом 5000 м^3 с использованием ГУБТ электрофильтры не применяются (рис. 7.16, в). Для коа-

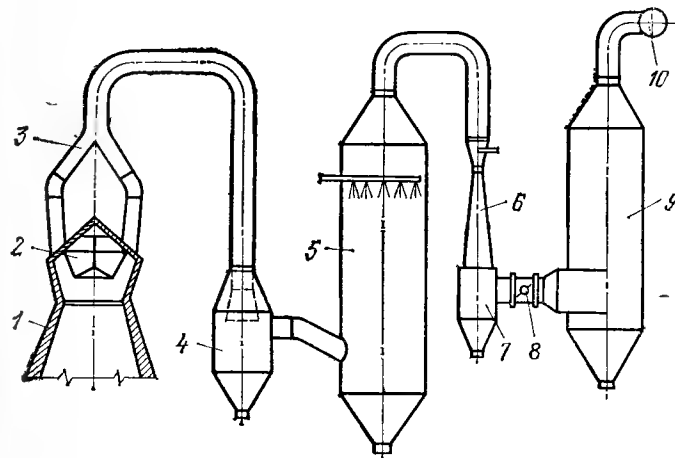


Рис. 7.15. Схема обеспыливания доменного газа

гуляции пыли предусматривают в блоке пять — семь труб Вентури с общим бункером 13, но с индивидуальным сепаратором для каждой трубы. При этом обеспечивается возможность отключения требуемого числа труб Вентури при помощи дроссельных задвижек. После блока труб Вентури до и после дроссельной группы устанавливают центробежные скрубберы.

Опыт эксплуатации систем для очистки доменного газа показал, что для всех них характерна эффективная очистка газа от пыли. Однако вследствие высокой температуры воды, поступающей на орошение аппаратов из обратного цикла водоснабжения, температура очищенного газа превышает нормативную величину (35°C) и достигает $45\text{--}50^\circ\text{C}$ зимой и $50\text{--}60^\circ\text{C}$ летом. Более интенсивное охлаждение газа, чем в полом скруббере, может быть осуществлено в трубе Вентури при скорости газового потока $120\text{--}160 \text{ м/с}$ и удельном расходе воды $1,25\text{--}1,5 \text{ л/м}^3$. При таких условиях температура газа будет близка к температуре мокрого термометра.

Схема газоочистки без полого скруббера показана на рис. 7.16, г. Охлаждение газа осуществляется в трубе Вентури, а коагуляция мелкодисперсной пыли в дроссельной группе. Такая же схема очистки домен-

ного газа с использованием ГУБТ приведена на рис. 7.16, д. За рубежом получила распространение схема очистки доменного газа, в которой после сухого инерционного пылеуловителя последовательно установлены на инерционные пыле- и брызгоуловители две трубы Вентури. В первой низконапорной трубе Вентури осуществляется охлаждение газа, а во второй высоконапорной — коагуляция пыли. Далее газ очищается в центробежном скруббере и, проходя через дроссельную группу, освобождается от капельной влаги во втором центробежном скруббере. Имеются и другие схемы мокрой очистки доменного газа [139].

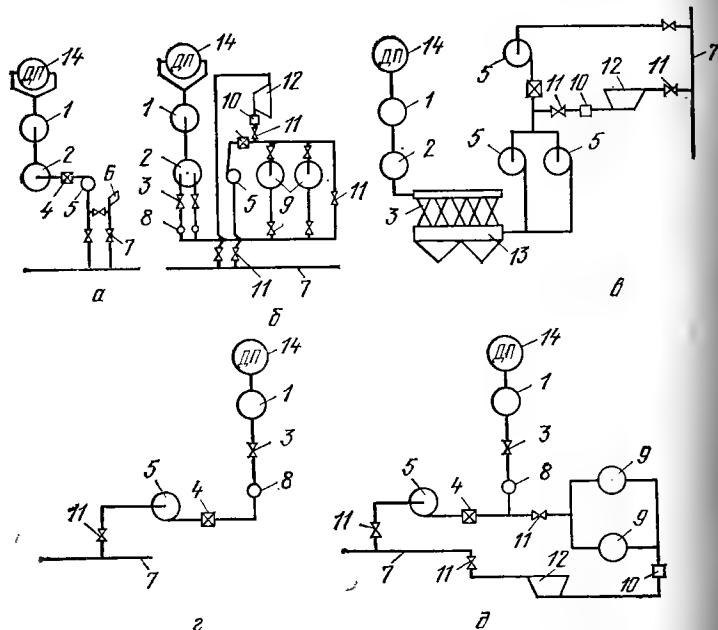


Рис. 7.16. Принципиальные схемы очистки доменного газа от пыли:

1 — сухой пылеуловитель; 2 — полый скруббер; 3 — труба Вентури; 4 — дроссельная группа; 5 — центробежный скруббер; 6 — свеча для сжигания избытка газа; 7 — коллектор чистого газа; 8 — инерционный пыле- и брызгоуловитель; 9 — электрофильтр; 10 — подогреватель газа; 11 — задвижка с электроприводом; 12 — ГУБТ; 13 — бункер с сепаратором; 14 — доменная печь

В последнее время внедряется очистка доменного газа в сухих аппаратах (пластинчатых электрофильтрах) тканевых фильтрах из стеклоткани, металлокерамических фильтрах), в которых газ не охлаждается, а поэтому нагревать его перед подачей в турбину не требуется. Однако промышленного применения сухие фильтры для очистки доменного газа пока еще не получили.

Институтом «Гипрогазоочистка» выполнено сравнение девяти схем мокрой и сухой очистки газа для доменной печи объемом 5000 м³. Из сопоставления экономических показателей схем очистки газов следует, что три схемы сухой очистки с применением рукавных металлотканых фильтров, рукавных фильтров с тканью «Оксалон» и четырех сухих

электрофильтров значительно экономичнее схем мокрой очистки газов. Экономический эффект от применения схем с сухими электрофильтрами является максимальным и превышает на 930 тыс. руб. в год экономический эффект от применения схемы мокрой очистки с разделением чистого и грязного цикла водоснабжения. Это свидетельствует о перспективности строительства сухой очистки доменного газа с применением сухих электрофильтров.

Источником загрязнений воздушного бассейна являются загрузочные устройства доменных печей. Для очистки вредных выбросов из загрузочного межконусного пространства на доменных печах Макеевского металлургического комбината, Донецкого и Косогорского металлургических заводов применяются системы газоочистки, состоящие из орошаемого газохода, шламоуловителя, регулируемой трубы Вентури с каплеуловителем.

На Челябинском металлургическом комбинате за доменной печью № 1 для очистки газов, отходящих из межконусного пространства, установлены полый скруббер и регулируемая труба Вентури.

Работа системы очистки газов носит циклический характер в соответствии с режимом работы загрузочного устройства. В этих условиях нецелесообразно применение громоздкого газоочистного оборудования, требующего больших капитальных и эксплуатационных затрат. Эксплуатация системы усложняется из-за постоянной подачи пара (в количестве 2—5 т/ч) в межконусное пространство, в результате чего происходит конденсация влаги на стенках газоходов.

ВНИПИчерметэнергоочисткой разработана установка подавления вредных выбросов из загрузочного устройства доменной печи. Перед сходом шихты в печь в бункере загрузочного устройства путем подачи компримированного азота создается давление, превышающее на 100 Па давление газа на колошнике печи. В итоге исключается переток запыленного газа из колошника в загрузочное устройство. Эффективность подавления пыли 99,6 %, оксида углерода 87,0 %. При этом повышается стойкость контактных поверхностей уравнильных и предохранительных клапанов загрузочного устройства.

При разгрузке вагонов на рудном дворе, подаче шихтовых материалов на бункерную эстакаду, сливе чугуна в ковш на литейном дворе доменного производства концентрация пыли достигает 2 г/м³. Для очистки аспирационного воздуха системы шихтоподачи и литейного двора на Криворожском металлургическом комбинате установлены электрофильтры УГ2-4-74, работающие с эффективностью 93—95 %. Для отсоса запыленного воздуха узлов разгрузки, транспортировки, питателей применена централизованная коллекторная аспирационная система, обеспечивающая укрытие всех источников пылевыделения.

7.7. ОБЕСПЫЛИВАНИЕ ГАЗОВ МАРТЕНОВСКИХ ПЕЧЕЙ

В общем балансе пылегазовых выделений сталеплавильных агрегатов на долю мартеновского производства стали приходится около 75 % пыли, 85 % оксидов азота и 90 % оксидов серы.

Применение кислорода обусловило увеличение концентрации пыли в отходящих газах мартеновских печей с 1 до 10—15 г/м³ и снижение их влагосодержания со 100—130 до 40—60 г/м³ сухого газа. Пыль на 85—88 % состоит из оксидов железа, являющихся частично продуктами возгонки металла в реакционной зоне ванны, а частично — продуктами механического уноса дымовыми газами капель расплава и частиц шихты. Дисперсный состав пыли зависит от степени интенсификации

плавки кислородом, и количество частиц менее 1 мкм в период кислородной продувки достигает 70—85 %.

Химический состав газов характеризуется наличием в них оксидов серы <150 мг/м³, оксидов азота <2 г/м³ и паров масел. Объем дымовых газов зависит от емкости мартеновской печи, периодов плавки и в среднем составляет:

Емкость мартеновской печи, т	100	200	300	400	500	600	900	2×250*
Количество газов, 10³ м³/ч:								
перед котлом-утилизатором	65	80	105	115	130	145	180	180
после котла-утилизатора	80	100	120	140	160	180	220	220

* Двухванная печь.

Температура мартеновских газов в борове перед котлом-утилизатором 500—600 °С, после котла-утилизатора 250 °С. Средний химический состав мартеновских газов, % (объемн.): 5CO₂; 0—1CO; 14O₂; 74N₂; 7H₂O. При плавке стали в двухванной печи состав газа несколько изменяется и характеризуется следующими данными, %: 5—15CO₂; 0—1CO; 9—13O₂; 57—74N₂; 12—14H₂O. Окись углерода перед направлением газа на очистку дожигают в специальной камере. При работе мартеновской печи на природном газе в нем может содержаться до 110 мг/м³ окислов серы, а при отоплении коксодоменным газом — до 800 мг/м³. Содержание влаги в газе составляет в среднем 60 г/м³.

Запыленность мартеновских газов 10 г/м³, а газов из двухванных печей — до 15 г/м³. Пыль состоит в основном из окислов железа. Кроме того, в ней присутствуют окислы кальция, магния, марганца, алюминия, кремния, фосфора, серы. Плотность мартеновской пыли 4,5—5 г/м³, насыпная плотность 1,5 г/см³. Угол естественного откоса 28—33°; гигроскопичность пыли 3—8 %. Дисперсный состав пыли зависит от расхода кислорода в печи и технологического процесса плавки и в период плавления характеризуется следующими данными:

Размер частиц, мкм	<0,07	0,07—0,1	0,1—0,2	0,2—0,3	0,3—0,4
Содержание, % (по массе)	3,2—5,7	2,8—3,5	12,8—16	16—18	15—16
Размер частиц, мкм	0,4—0,6	0,6—0,8	0,8—1,0	>1,0	
Содержание, % (по массе)	14—18	10—11	7—8	11—12	

В миксерном отделении в местах слива чугуна в миксер и из миксера в ковш, а также при скачивании шлака делают укрытия типа зонтов и отсасывают из каждого укрытия воздух в количестве 120—130 тыс. м³/ч; содержание графитовой пыли в воздухе, имеющем температуру 100—120 °С, составляет 3,5 г/м³.

Для обеспыливания дымовых газов мартеновских печей используют сухие горизонтальные электрофилтры, трубы Вентури. Электрофилтры устанавливают после котла-утилизатора (рис. 7.17).

Для безопасности ведения процесса очистки газа в электрофилтре окись углерода, содержащуюся в мартеновском газе, дожигают в специальной камере перед котлом-утилизатором. При содержании СО в газе более 1 % (объемн.) подачу напряжения на электрофилтр прекращают. Измерение концентрации СО в газе производят автоматическими газоанализаторами, сблокированными с агрегатами питания электро-

филтра. Скорость газа в электрофилтре должна быть 0,9—1 м/с, температура его перед электрофилтром — не выше 250 °С, а влажность — в пределах 60—100 г/м³. При меньшем значении влажности в газоходе перед электрофилтром устанавливают форсунки с мелким распылом воды.

Принципиальная схема установки с трубами Вентури показана на рис. 7.18. Дымовые газы охлаждаются в котле-утилизаторе и поступают в блок труб Вентури. Могут быть использованы трубы с круглым и прямоугольным сечением горловины. Использование труб с круглым се-

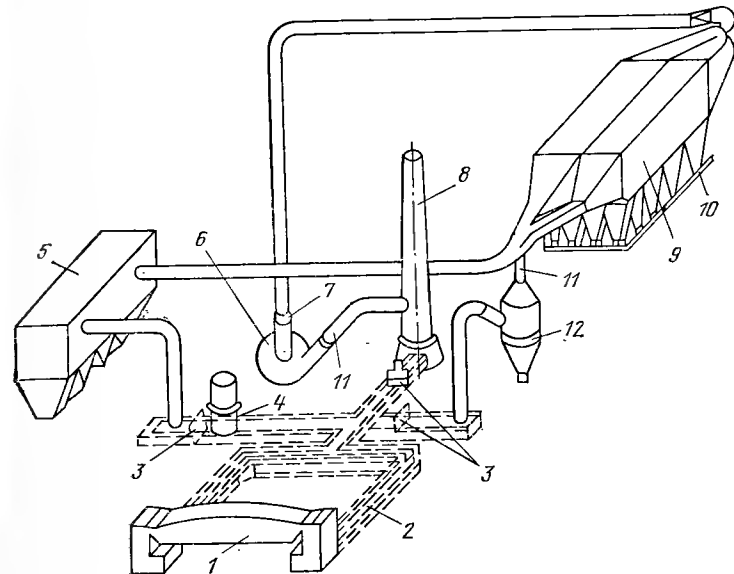


Рис. 7.17. Схема очистки мартеновских газов в сухих пластинчатых электрофилтрах:

1 — мартеновская печь; 2 — боров; 3 — шибер; 4 — камера для дожигания окиси углерода; 5 — котел-утилизатор; 6 — дымосос; 7 — направляющий аппарат; 8 — дымовая труба; 9 — электрофилтр; 10 — линия пневмотранспорта пыли; 11 — дроссель-клапан; 12 — испарительный скруббер

чением горловины требует отключения части из них при изменении количества газа в процессе плавки. Трубы Вентури с прямоугольным сечением горловины дают возможность осуществлять оптимальный режим работы системы очистки газа в течение плавки путем регулирования сечения горловины (рис. 7.19).

При определении создаваемого дымососом необходимого разрежения рекомендуется принимать следующие значения гидравлического сопротивления участков газового тракта: боров печи до шибер котла-утилизатора 600—800 Па; котел-утилизатор 2000—2500 Па.

Для обеспечения нормальной работы мартеновской печи и эффективной очистки газа разрежение, создаваемое дымососом (экстаустером), должно быть при сухой очистке в электрофилтрах не менее 4500 Па, при мокрой — не менее 15000 Па. Во избежание конденсации водяных паров из газа предусматривают теплоизоляцию газоходов чис-

того газа от каплеотделителей до нагнетателя и от нагнетателя до дымовой трубы.

Кроме рассмотренных схем очистки газов, предусмотренных индивидуально для каждой мартеновской печи, применяют централизованные установки, рассчитанные на несколько печей. На Челябинском металлургическом комбинате для шести 100-т мартеновских печей эксплуатируется газоочистка, состоящая из трех блоков: двух рабочих и одного резервного. Каждый блок рассчитан на очистку газов от трех мар-

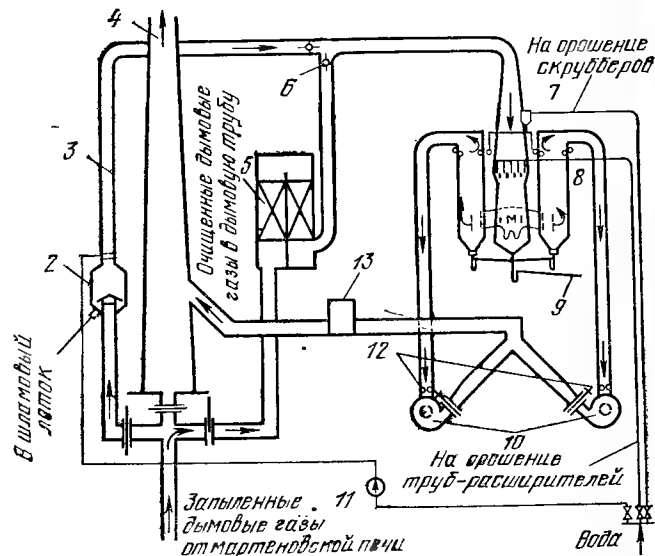


Рис. 7.18. Схема очистки мартеновских газов в скоростных пылеуловителях с круглыми трубами Вентури:

1 — шибер; 2 — оросительная камера; 3 — обводной газопровод; 4 — дымовая труба; 5 — котел-утилизатор; 6 — дроссель-кран; 7 — центробежные скрубберы; 8 — блок труб Вентури; 9 — шламопровод; 10 — дымососы; 11 — насос; 12 — направляющие аппараты дымососов; 13 — устройство для подогрева газа

теновских печей и включает полный скруббер для охлаждения газа, трубы Вентури и центробежные пыле- и брызгоуловители. Мартеновские печи соединены с газоочисткой коллектором. Такая централизованная газоочистка занимает меньшую площадь, чем индивидуальные для каждой печи; кроме того, она дешевле и имеет более низкие эксплуатационные расходы.

Наряду с разработкой высокоэффективных систем очистки мартеновских газов ведутся изыскания эксплуатационных режимов работы печей, при которых сокращается количество вредных выбросов. Институт «ВНИПИчерметэнергоочистка» разработан новый способ отопления мартеновских печей природным газом с предварительной термодобготовкой. Его использование позволяет сократить количество поступающего на очистку газа и выбрасываемой из печи пыли на 15 %, количество оксидов серы — в 2—2,5 раза, оксидов азота — на 20—25 % [30]. Следует отметить, что специально очистка технологических газов мартеновских печей от окислов серы и азота не осуществляется.

Работы, направленные на изыскание оптимальных режимов подачи кислорода в ванну мартеновской печи, позволили институту «ВНИПИчерметэнергоочистка» рекомендовать фурмы для подачи кислорода в ванну в начальный период плавнения с углом наклона сопел 70—80° и после расплавления шихты с углом наклона сопел 20—30°. Использование таких фурм обеспечивает сокращение выноса пыли из печи с технологическими газами на 30—35 %.

Применение кислородно-газовой продувки с подачей в реакционную зону природного газа в количестве 20—30 % от количества кис-

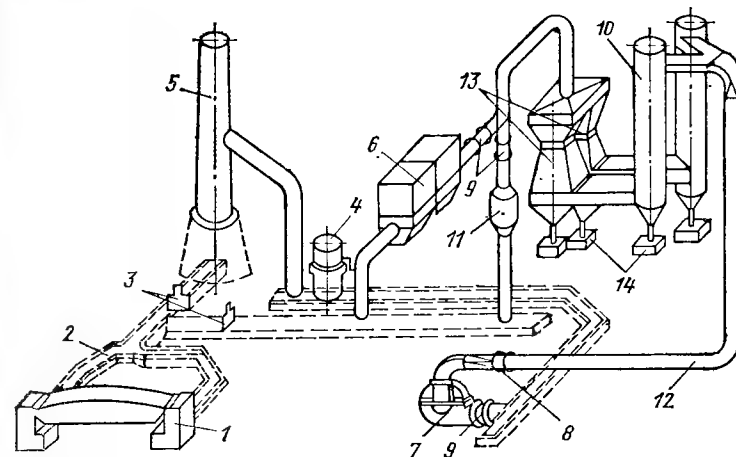


Рис. 7.19. Схема очистки мартеновских газов с использованием труб Вентури с прямоугольным сечением горловины:

1 — мартеновская печь; 2 — боровы; 3 — шибер; 4 — устройство для подогрева газа; 5 — дымовая труба; 6 — котел-утилизатор; 7 — дымосос; 8 — направляющий аппарат; 9 — дроссель-кран; 10 — центробежный скруббер; 11 — оросительная камера; 12 — газопровод очищенного газа; 13 — прямоугольные трубы Вентури; 14 — гидрозатвор

лорода позволяет сократить вынос пыли с отходящими газами на 40—50 % и способствует ее коагуляции, что существенно повышает эффективность пылеулавливания [26, 31].

Анализ технико-экономических показателей газоочистных установок позволяет сделать следующие выводы. Для очистки газов мартеновских печей емкостью 200—500 т рекомендуется установка электрофильтров или скрубберов Вентури (в случае их эксплуатации без подогрева газа). Для печей емкостью 600—900 т экономически целесообразно устанавливать электрофильтры. При необходимости подогрева отходящих газов установка скрубберов Вентури рекомендуется только в цехах, где размещение электрофильтров невозможно.

7.8. ОЧИСТКА КОНВЕРТЕРНЫХ ГАЗОВ

В процессе кислородной продувки чугуна из конвертеров с отходящими газами выносятся 1,5—2,0 % пыли от массы залитого чугуна. Концентрация пыли в газах изменяется в диапазоне 20—250 г/м³ и зависит от

большого числа факторов: системы отвода и охлаждения газа; режима кислородной продувки, качества, гранулометрического состава, влажности извести и других сыпучих присадок, подаваемых в конвертер по ходу продувки. Средний диаметр частиц пыли на входе в систему газоочистки составляет 25—30 мкм.

Конвертеры оснащены системами отвода газа, обеспечивающими полное или частичное дожигание оксида углерода до CO_2 . Имеются и системы, в которых конвертерный газ отводится в систему очистки без дожигания оксида углерода.

Системы пылеулавливания, установленные за конвертерами, должны обеспечить очистку газа до концентрации 80—100 мг/м³. Ввиду высоких температур отходящих конвертерных газов (температура газа на выходе из конвертера составляет 1300—1800 °С) и наличия в них значительных количеств оксида углерода получили преимущественное распространение системы мокрой очистки газов с использованием в качестве основного пылеулавливающего аппарата высоконапорных скрубберов Вентури.

Объем конвертерных газов зависит в основном от расхода кислорода, необходимого для выгорания углерода, состава шлакообразующих добавок (извести, известняка), химического состава чугуна и получаемой стали и других факторов. Газ, выделяющийся из конвертера, улавливают, отводят, охлаждают и очищают от пыли. В процессе охлаждения в нем конденсируются пары оксидов железа и других примесей. В результате в газе образуются мельчайшие частицы пыли — возгоны, которые составляют основную ее массу.

Между конвертером и газоотводящим трактом всегда имеется зазор, дающий возможность поворачивать конвертер при загрузке скрапа, заливке чугуна, выпуске стали и сливе шлака. При отводе газа из конвертера с дожиганием окиси углерода в указанном зазоре при помощи дымососа создают разрежение, которое обеспечивает улавливание газов, выделяющихся из конвертера. По периметру газовой струи, поступающей в газоход, подсасывается наружный воздух, приводящий к сгоранию окиси углерода. Таким образом, в систему газоочистки поступают продукты сгорания конвертерных газов. Так как в газах отсутствует окись углерода, то обеспечивается безопасная работа всего газового тракта.

Объем конвертерного газа после дожигания окиси углерода зависит от емкости конвертера, марки выплавляемой стали и технологического процесса плавки. Химический состав конвертерного газа при полном дожигании CO и интенсивности продувки кислородом 10 м³/с составляет, % (объемн.): 31CO_2 ; 60N_2 ; 9O_2 . Кроме того, в газе содержится, мг/м³: до 50SO_2 ; 100F и 10Cl . Запыленность газа на выходе из конвертера — до 200—250 г/м³. Часть пыли осажается в газоотводящем тракте и котле-утилизаторе и перед газоочисткой ее концентрация не превышает 50 г/м³.

Пыль состоит в основном из оксидов железа; в ней присутствуют также окислы кремния, алюминия, кальция, марганца. Основная масса частиц пыли (80 %) имеет размеры менее 1 мкм; плотность пыли 4—5 г/см³ [140].

Для очистки конвертерных газов с дожиганием оксида углерода применяют скоростные пылеуловители с высоконапорными трубами Вентури круглого или прямоугольного сечения. За рубежом также используют сухие и мокрые электрофильтры и тканевые фильтры [139]. На рис. 7.20 показана схема очистки конвертерных газов. Конвертерные газы подвергают охлаждению в котле-утилизаторе, встроенном в подъемно-опускной газоход, и в скруббере прямоугольного сечения, а затем их направляют в блок из восьми труб Вентури с круглым сечением гор-

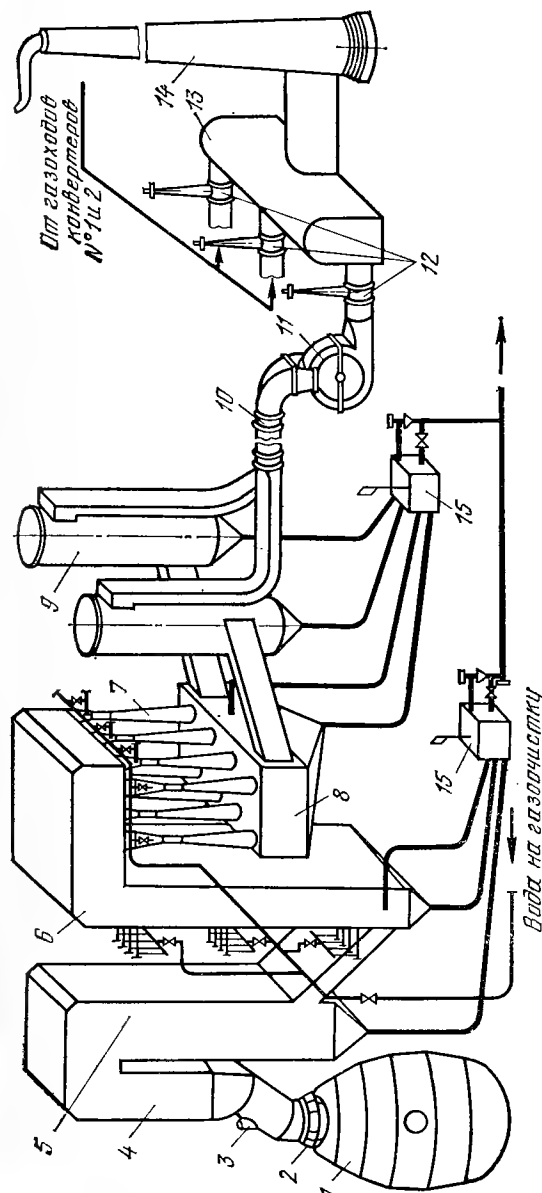


Рис. 7.20. Схема отвода и очистки конвертерного газа с дожиганием окиси углерода и утилизацией тепла в системе с круглыми трубами Вентури:

1 — конвертер; 2 — кессон; 3 — отверстие для фурмы; 4 — подъемный газоход с радиационными поверхностями котла-утилизатора; 5 — опускной газоход с конвективными поверхностями и экономайзером; 6 — скруббер; 7 — блок труб Вентури; 8 — инерционный водоотделитель; 9 — центробежные скрубберы; 10 — дроссельный клапан; 11 — дымосос; 12 — задвижка; 13 — боров; 14 — дымовая труба; 15 — гидроаппарат

ловнины, установленными на инерционный водоотделитель. Окончательную очистку газа осуществляют в двух параллельно расположенных центробежных скрубберах. Такая установка обеспечивает очистку газа до конечного пылесодержания 70 мг/м^3 . Обеспыливание конвертерных газов в тканевых фильтрах, применяемое во Франции, показано на рис. 7.21. По этой схеме тепло отводимых газов утилизируют для нагрева поверхностей воздухонагревателя. Охлаждение газа перед его подачей в тканевый фильтр осуществляется в испарительном скруббере. Остаточная запыленность газа при такой схеме составляет $4\text{--}7 \text{ мг/м}^3$.

В сухих электрофильтрах газ очищают по схеме, приведенной на рис. 7.22. В котле-утилизаторе газ охлаждается до температуры 600°C .

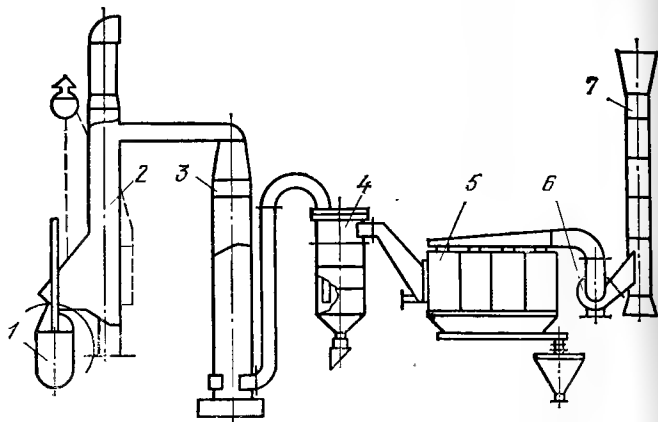


Рис. 7.21. Схема очистки дымовых конвертерных газов в тканевых фильтрах:
1 — конвертер; 2 — водоохлаждаемый камин; 3 — аккумулятор; 4 — испарительный скруббер; 5 — тканевый фильтр; 6 — дымосос; 7 — дымовая труба

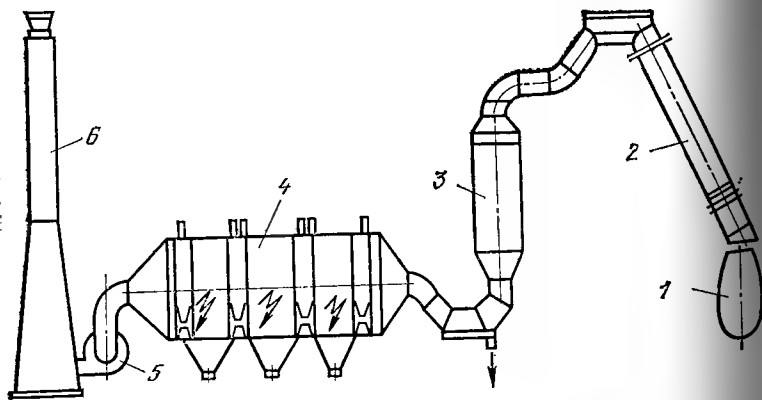


Рис. 7.22. Схема очистки конвертерных газов в сухих электрофильтрах:
1 — конвертер; 2 — котел-утилизатор; 3 — полый испарительный скруббер; 4 — сухой пластинчатый электрофильтр; 5 — дымосос; 6 — труба

Перед очисткой в сухом горизонтальном электрофильтре газ охлаждают до температуры 200°C в полном испарительном скруббере [140].

На рис. 7.23 показана схема установки для очистки конвертерных газов с дожиганием СО и охлаждением газа в прямоугольных трубах Вентури. Крупная пыль и капли шлама осаждаются в бункерах, на которых установлены трубы Вентури, а укрупненная пыль — в центробежном скруббере.

Очистку конвертерных газов без дожигания окиси углерода осуществляют без доступа воздуха в газовый тракт. Поэтому на газоочистку поступают только конвертерные газы, а не продукты их сгорания. Количество образующихся в процессе плавки газов зависит от метода проведения кислородной продувки, режима плавки и типа присадок, конструкции фурмы и ее положения, вида перерабатываемых чугунов, интенсивности продувки и, по практическим данным, составляет $70\text{--}90 \text{ м}^3$ на каждую тонну емкости.

Химический состав конвертерного газа без дожигания окиси углерода, % (объемн.): 17 CO_2 ; 16 N_2 ; 67 CO . Кроме того, в газе содержится, мг/м^3 : до 70 SO_2 ; $30 \text{ H}_2\text{S}$; 200 F и 20 Cl . Запыленность газа на выходе из конвертера доходит до 200 г/м^3 .

Ввиду того что количество конвертерных газов в несколько раз меньше продуктов их сгорания, системы газоочистки получают меньшими по размеру, а их стоимость и эксплуатационные расходы ниже, чем при отводе и очистке газа с дожиганием оксида углерода. Отвод конвертерного газа без дожигания оксида углерода осуществляют в основном по схеме с котлом-утилизатором, а очистку газов от пыли по условию взрывобезопасности производят в аппаратах мокрого типа (рис. 7.24).

Система отвода газа состоит из кессона, переходящего в камин, в который встроен котел-утилизатор. В последнем газ охлаждают до $800\text{--}900^\circ\text{C}$; доохлаждение его осуществляют вначале в горизонтальном газоходе за счет подачи мелкораспыленной воды, а затем в низконапорных трубах Вентури с регулируемым сечением горловины. Коагуляция мелкодисперсной пыли происходит в высоконапорной трубе Вентури с регулируемым сечением горловины и орошением в пределах $1,4\text{--}1,7 \text{ л/м}^3$.

Очистку газа от крупных капель шлама осуществляют в инерционных пыле- и брызгоуловителях, на которых установлены трубы Вентури; окончательная очистка газа от укрупненной пыли проходит в центробежном скруббере.

По проекту Гипрогазоочистки на заводе Дунай-Вашмю (ВНР) за конвертерами садкой 130 т , работающими с расходом кислорода на про-

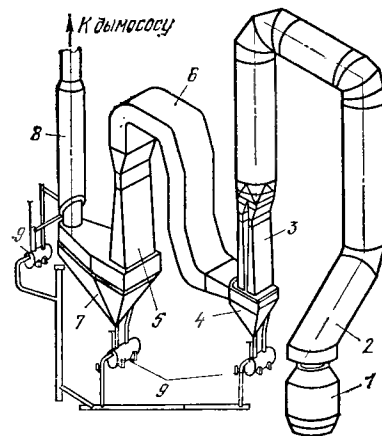


Рис. 7.23. Очистка конвертерного газа с дожиганием окиси углерода и охлаждением газа в прямоугольных трубах Вентури:

1 — конвертер; 2 — газоотводящий тракт; 3 — низконапорная труба Вентури; 4 — бункер-каплеуловитель; 5 — высоконапорная труба Вентури; 6 — газоход; 7 — инерционный пыле- и брызгоуловитель; 8 — центробежный пылеуловитель; 9 — гидрозатвор

дувку до 400 м³/мин, после дожигания оксида углерода установлена система газоочистки, включающая трубу Вентури с регулируемым сечением горловины. Очистка газов производится в две стадии. Грубая очистка и охлаждение газа осуществляются в скруббере с конфузным вводом газа, имеющем две ступени орошения и жалюзийный каплеуловитель. Тонкая очистка производится в трубе Вентури, в которой смонтирована третья ступень орошения. Сечение горловины трубы регулируется с помощью перемещающегося по оси обтекателя, который может входить в пережим трубы. Улавливание капельной влаги осуществляется в двух каплеуловителях, работающих параллельно. Очищенные от пыли и капельной влаги газы транспортируются к дымососу произ-

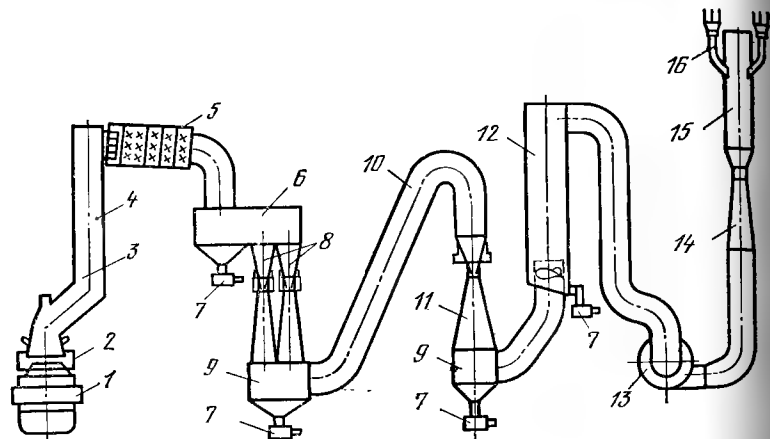


Рис. 7.24. Схема отвода и очистки конвертерного газа без дожигания оксида углерода:

1 — конвертер; 2 — подвижная водоохлаждаемая муфта; 3 — кислородная фурма; 4 — котел-утилизатор; 5 — орошаемый газопровод; 6 — коллектор запыленного газа; 7 — гидрозатвор; 8 — низконапорные трубы Вентури-охладители газа; 9 — инерционный пыле- и брызгоуловитель; 10 — газопровод; 11 — высоконапорная труба-коагулятор; 12 — центробежный скруббер с завихрителем газа; 13 — дымосос; 14 — труба Вентури для измерения количества газа; 15 — дымовая труба; 16 — дожигающее устройство

водительностью 240000 м³/ч влажных газов. Требуемая концентрация пыли на выходе из системы 100 мг/м³ обеспечивается на всех режимах работы конвертера при гидравлическом сопротивлении скруббера Вентури 14 кПа.

Совершенствуются эксплуатирующиеся в цехах системы с целью увеличения пропускной способности газоотводящего тракта и повышения эффективности очистки. Так, трестом «Укрэнергочермет» усовершенствована система мокрой очистки за конвертером емкостью 50 т на Криворожском металлургическом комбинате.

Газоотводящий тракт до модернизации был выполнен по схеме: конвертер—кессон—восходящий газопровод—нисходящий орошаемый газопровод—скруббер-охладитель—труба Вентури—циклон-каплеуловитель—нагнетатель—дымовая труба. Из схемы исключен циклон-каплеуловитель, труба Вентури с диаметром горловины 650 мм была заменена на блок

из четырех труб с диаметром горловины 400 мм каждая, а скруббер-охладитель переоборудован в каплеуловитель. Это позволило увеличить объем газов, пропускаемых через газоотводящий тракт, со 170 до 200 тыс. м³/ч, уменьшить расход оборотной воды на 260 м³/ч, уменьшить гидравлическое сопротивление скруббера Вентури с 4,9 до 9,4 кПа. Концентрация пыли в очищенном газе снизилась с 0,8 до 0,14 г/м³.

Проводятся работы, направленные на сокращение пылевыведения из конвертеров технологическими средствами в период продувки металлической ванны кислородом. ВНИПИчерметэнергоочисткой разработаны конструкции четырех- и пятиопловых кислородных фурм с углом наклона сопел 15—20°, что дает образование рассредоточенной реакционной зоны. Более равномерное распределение тепла экзотермических реакций при взаимодействии кислорода с ванной позволяет снизить потери железа с 17,7 до 10,8 кг/т.

Наряду с рассредоточением подачи кислорода рекомендовано изменить технологию ведения плавки: снижать расход кислорода в период подачи сыпучих присадок в конвертер, подавая максимально возможную часть сыпучих до начала продувки или в начальный ее период, когда скорость газа в горловине невелика.

Учитывая тенденции развития конвертерного производства, связанные с интенсификацией продувки и наращиванием единичных мощностей агрегатов, что приводит к увеличению объема очищаемых газов, перспективными схемами очистки следует считать системы отвода газа без дожигания оксида углерода и использования электрофильтра в качестве основного газоочистного аппарата.

7.9. ОЧИСТКА ГАЗОВ ЭЛЕКТРОСТАЛЕПЛАВИЛЬНЫХ ПЕЧЕЙ

Электрические печи для выплавки стали имеют ряд преимуществ по сравнению с другими сталеплавильными агрегатами. В них выплавляют высоколегированные инструментальные, нержавеющие, жаростойкие и жаропрочные стали. Образующиеся в процессе плавки насыщенные пылью газы повышают давление в печи и через неплотности в ее конструкции выделяются в производственные помещения. Основное количество газа выделяется через неплотности у электродов и рабочего окна. Газы выделяются из электропечей не только в процессе плавки, но и во время загрузки печи и слива готовой стали в ковш [139, 141].

Газ, выделяющийся из печи, имеет следующий химический состав, % (объемн.): <68 CO; <30 CO₂; <21 O₂; 30—79 N₂. Температура газа на выходе из печи составляет около 1600°C. Ввиду наличия в газе CO он взрывоопасен и поэтому перед направлением на очистку оксид углерода дожигают в специальном устройстве. Концентрация пыли составляет 50—60 г/м³; она состоит из окислов железа, кремния, алюминия, марганца, кальция. Плотность пыли 4—4,2 г/см³, насыпная плотность 1,2 г/см³; угол естественного откоса 20—25°. Дисперсный состав пыли при выплавке среднеуглеродистых и хромистых сталей характеризуется следующими данными:

Размер частиц, мкм . . .	<0,7	0,7—7	7—80	>80
Содержание, % (по массе)	42	35	16	7

Для улавливания и отвода газов, выделяющихся от электропечей, принимают различные системы:

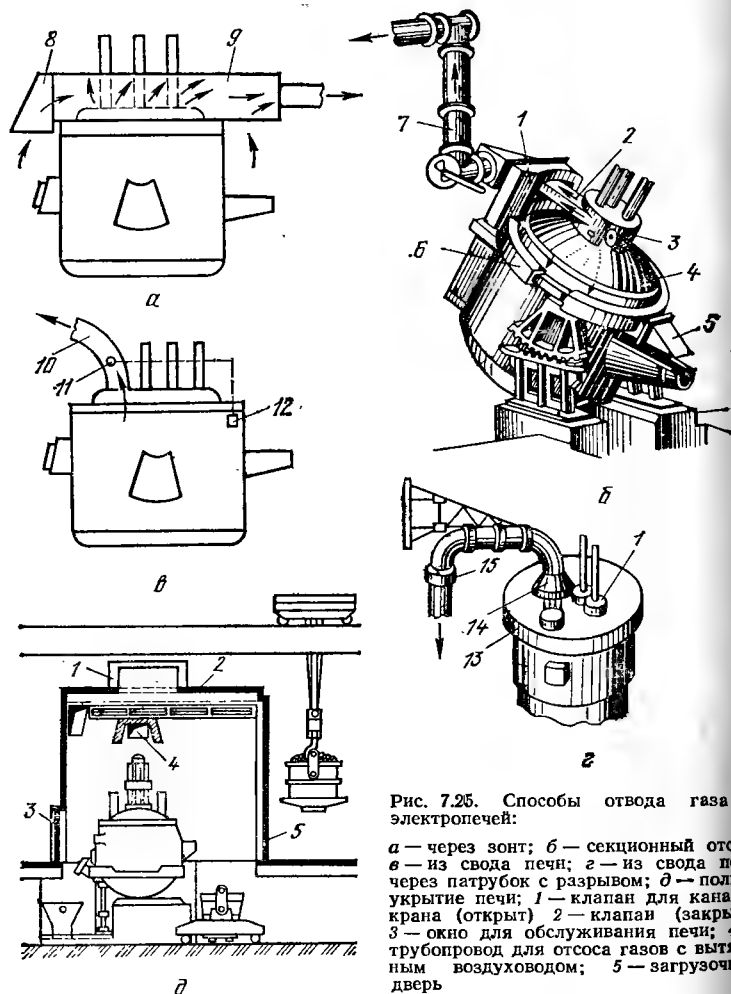


Рис. 7.25. Способы отвода газа от электропечей:

а — через зонт; б — секционный отсос; в — из свода печи; г — из свода печи через патрубков с разрывом; д — полное укрытие печи; 1 — клапан (закрыт); 2 — клапан (открыт); 3 — окно для обслуживания печи; 4 — трубопровод для отсоса газов с вытяжным воздуховодом; 5 — загрузочная дверь

1. Фонари или вытяжные шахты в крыше цеха, через которые попавший в цех газ удаляется естественным путем. В некоторых случаях для улучшения общеобменной вентиляции в шахтах или в крыше печных пролетов устанавливают вентиляторы. При таком методе отвода газ сначала попадает в цех, загрязняет его атмосферу, что затрудняет создание в цехе нормальных санитарно-гигиенических условий работы.

2. Установка над электропечью зонта (рис. 7.25, а), полностью перекрывающего в плане свод печи. В конструкции зонта 9 предусмотрен специальный колпак 8 над загрузочным окном печи, предназначенный для отсоса газа, выделяющегося при загрузке и в процессе работы печи. Вместе с газом в зонт из цеха подсасывается воздух, в результате чего объем газа, поступающего на газоочистку, резко возрастает. Поэтому

устройство зонта над электропечью требует установки газоочистки и дымососов большой производительности. При отсосе через зонт не все количество выделяющегося из печи газа попадает в зонт. Часть запыленного газа проникает в здание цеха, загрязняя его, а затем при выходе через фонарь вызывает загрязнение атмосферы.

3. Секционный отсос (рис. 7.25, б) представляет усовершенствованное укрытие, состоящее из нескольких секций, присоединенных к вытяжному газоходу посредством двухшарнирного телескопического патрубка 7. Газ, выходящий через зазоры между электродами и сводом печи, удаляется через отсосы 2 и 3. Кольцевой отсос 6 с укрытием 4 служит для улавливания газа, выбивающегося через неплотности в месте соединения свода и корпуса печи. Над желобом печи устроен зонт 5. Все эти отсосы объединены сборником газа 1, присоединенным к патрубку 7. При отсосе газа через рабочее сечение зонта со скоростью не менее 2 м/с или через секционный отсос производительности газоочистки и дымососа принимают в зависимости от емкости печи:

	Отсос при помощи зонта				Секционный отсос		
Емкость печи, т	<1,5	3	5	10	2,5	4,5	9
Количество газа, тыс. м ³ /ч	20	30	45	60	13,6	25	39

При применении кислорода объем отсасываемого газа увеличивает-ся примерно на 60 %. На практике применяют зонты и отсосы разных конструкций. Однако все они не обеспечивают полного улавливания и отвода газа, выделяющегося из электропечи, особенно во время подачи в ванну кислорода, и часть газа проникает в цех. Вследствие большого количества отсасываемого газа и громоздкости зонтов и отсосов их устанавливают на электропечах емкостью до 12 т.

4. Отвод газа непосредственно из свода печи (рис. 7.25, в). В своде печи делают специальное отверстие, через которое при помощи водоохлаждаемого патрубка 10, соединенного шарнирно с газоотводящим газопроводом, отсасывают газ, образующийся в процессе плавки стали. Под сводом печи создают разрежение 4,5—13 Па, которое исключает выбивание газа через неплотности печи. В некоторых случаях в печи образуют небольшое избыточное давление 5—30 Па, при котором создается восстановительная атмосфера. При разрежении в печи подса-сываемый воздух окисляет закись железа до высших окислов, которые не воспламеняются. Избыточное давление в печи исключает подсос воз-духа и возможность взрывов газа и хлопков в ее рабочем пространстве.

Количество удаляемого газа регулируют специальной задвиж-кой 11, соединенной с датчиком автоматического регулирования 12, ра-ботающим в зависимости от изменения давления в печи. При принятом расположении патрубка подсасываемый воздух не распространяется по всему объему печи и оказывает небольшое влияние на охлаждение ме-талла.

Такой метод отвода газа предусматривает перед подачей его на га-зоочистку дожигание СО в специальной камере. Для предотвращения выбивания газа из печи через отверстия для электродов зазоры между электродами и сводом печи закрывают специальными уплотнителями.

5. Отвод газа из свода печи через патрубок с разрывом (рис. 7.25, г). При этом газоотводящий патрубок 13 располагают на рас-стоянии 20—50 мм от стационарно установленной приемной ворон-ки 14 или приемного патрубка. Выходящая из печи струя газа подса-сывает окружающий воздух, в результате чего объем смеси увеличива-ется примерно в шесть раз. Содержащуюся в газе окись углерода дожигают в специальной камере в атмосфере подсасываемого воздуха,

затем газ направляется в систему газоочистки. Такой метод отвода газа безопасен и удобен, так как шарнирное соединение 15 трубопровода дает возможность отводить воронку перед наклоном электропечи. вода дает возможность отводить воронку перед наклоном электропечи.

6. Отвод газов способом полного укрытия печи (рис. 7.25, д), в котором производят загрузку, плавку и слив металла, обеспечивая снижение уровня шума и возможность производства ремонтных работ. По такой схеме Запорожский филиал Гипрогазоочистки разработал несколько проектов. Обеспечивается практически полный отвод газов от печи при резком снижении мощности системы отсоса газов по сравнению с отводом газа через подкрышный зонт. Одновременно благодаря звукоизолирующему действию укрытия достигается уменьшение уровня шума на рабочих местах. Газы за очистку отводятся из верхней части укрытия в течение всего периода плавки. Для загрузки печи шихтой предусмотрены соответствующие дверцы. В период их открытия с целью предотвращения выхода газов можно использовать воздушную завесу. Подобные установки применяются на заводах ФРГ, США, Италии, Швеции, Японии и др.

В 1981 г. на одном из заводов в ФРГ пущена дуговая сталеплавильная печь емкостью 50 т, помещенная в защитный кожух. Первичные и вторичные газы, выделяющиеся в процессе плавки в количестве 250000 м³/ч, отводятся и очищаются с помощью рукавного фильтра. Благодаря использованию защитного кожуха вместо системы комбинированного отсоса через четвертое отверстие в своде и фонарь на крыше цеха капитальные затраты снизились на 40 %, а расход электроэнергии — в два раза, значительно уменьшился уровень шума на рабочих местах в печном и разливочном пролетах. Положительные результаты также достигнуты в ФРГ при эксплуатации двух 15-т индукционных печей, помещенных в закрытый кожух.

Обеспыливание технологических газов от электросталеплавильных печей осуществляют мокрым способом в трубах Вентури и сухим способом в электрофильтрах или рукавных фильтрах. При этом электрогазоочистные установки имеют наилучшие технико-экономические показатели.

На рис. 7.26—7.28 приведены схемы газоочистных установок построенных за 100-т и 200-т электропечами на различных металлургических заводах. Газопылевой поток отводят от печи 1 через водоохлаждаемый патрубок, расположенный в своде печи. Между патрубком 2 и газоотводящим трубопроводом имеется воздушный зазор, дающий возможность регулировать количество отсасываемого газа и наклонять печь. Величину этого зазора регулируют муфтой 5, которая может перемещаться с помощью электропривода. После дожигания оксида углерода в камере 3 газ охлаждают в устройстве 4. Дожи́гание и охлаждение газа осуществляют атмосферным воздухом, который поступает в камеру дожигания через клапан 6, а в камеру охлаждения через клапан 7. Далее газ отводят в систему газоочистки по газопроводу, снабженному клапаном 10, которым регулируют количество газа. В кровле цеха под фонарем установлен зонт 8, через который удаляют неорганизованные выбросы. Количество отсасываемого газа регулируют с помощью клапана 9. Схемы очистки газов, удаляемых непосредственно из печи и через подфонарный зонт, могут быть отдельными или совмещенными.

На Донецком металлургическом заводе для очистки газов, отводимых от 100-т электропечи, используется мокрая газоочистка с трубами Вентури, а неорганизованные выбросы очищаются в электрофильтрах типа УГ (см. рис. 7.26). Газ, отводимый от печи, пропускают через прямоугольную трубу Вентури 12 с регулируемым сечением горловины, где пыль коагулирует. Укрупненная пыль очищается в инерционном

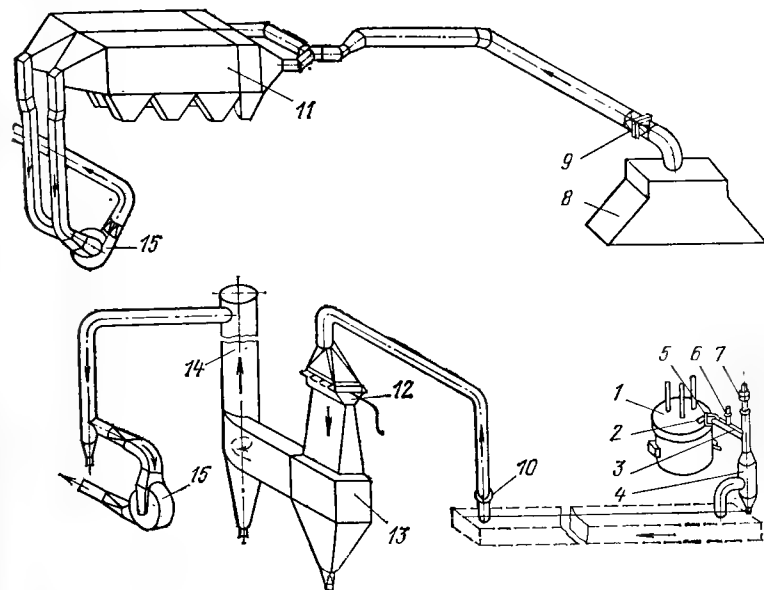


Рис. 7.26. Схема раздельной очистки газов, отводимых от электропечи и через зонт под фонарем цеха

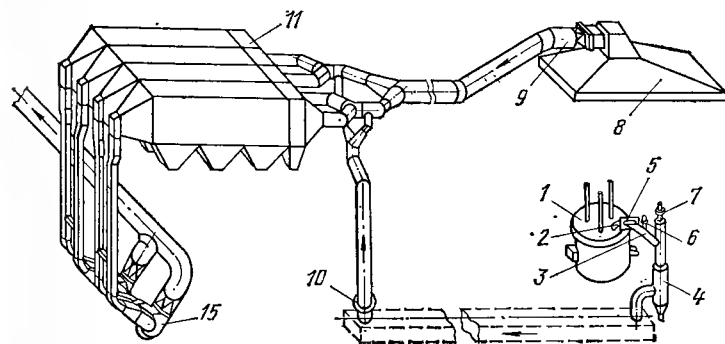


Рис. 7.27. Схема совмещенной очистки газов, отводимых от электропечи и через зонт под фонарем цеха, в сухом электрофильтре

пыле- и брызгоуловителе 13, а затем в центробежном скруббере 14. Очищенный газ с помощью дымососа 15 выбрасывается в дымовую трубу. Таким образом удаляются неорганизованные выбросы после очистки в сухом пластинчатом электрофильтре 11.

На Кузнецком металлургическом комбинате применяют совмещенную схему очистки технологических и неорганизованных выбросов в сухом пластинчатом электрофильтре (см. рис. 7.27). На Узбекском металлургическом заводе по совмещенной схеме газ очищают в рукавном

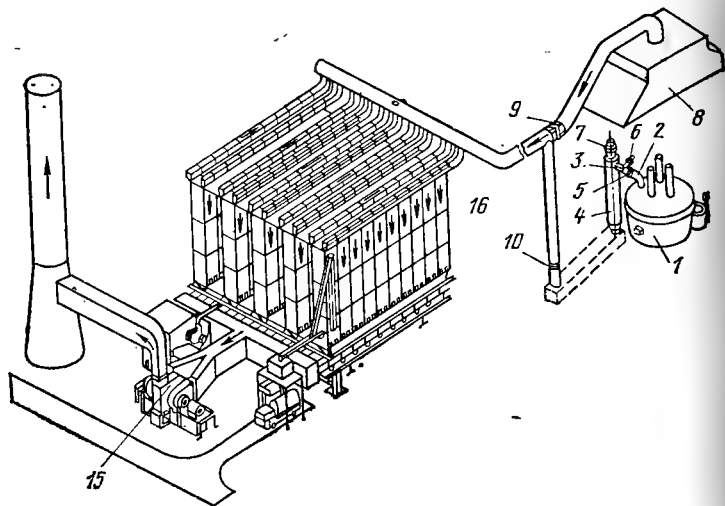
ОСНОВНЫЕ ПАРАМЕТРЫ ГАЗООЧИСТКИ 100-т
ЭЛЕКТРОСТАЛЕПЛАВИЛЬНЫХ ПЕЧЕЙ

Рис. 7.28. Схема совмещенной очистки газов, отводимых от электропечи и через зонты под фонарем цеха, в рукавном фильтре

фильтре 16 (см. рис. 7.28). В период заправки, загрузки печи и слива металла в ковш, когда электропечь отключена, производят очистку только неорганизованных выбросов, удаляемых через зонты. Эксплуатационные параметры этих газоочисток приведены в табл. 7.4.

Установка газоочистки за каждой пещью состоит из пяти 10-секционных фильтров общей поверхностью фильтрования 10300 м², очищающих 450000 м³/ч газов температурой 20—120 °С с содержанием пыли до 3 г/м³. Регенерация фильтров осуществляется обратной продувкой предварительно подогретым до 50—60 °С воздухом от общего для всех фильтров вентилятора ЦЧ-76 № 10 производительностью 40 тыс. м³/ч. Управление продувкой производится посредством прибора КЭП-12у. Продолжительность регенерации одной камеры секции 2 мин. В исправном состоянии фильтры обеспечивают очистку газов до запыленности 30—40 мг/м³.

Выгрузка пыли из фильтров предусматривается по ходу движения эластичными затворами, шлюзовыми питателями диаметром 100 мм и далее — винтовыми конвейерами и элеватором.

Опыт эксплуатации установок показал, что наиболее трудоемкими операциями являются проверка состояния и замена рукавов. В течение года требуется замена 10—12 % рукавов. Характерными дефектами являются разрывы рукавов в нижнем креплении (30 %) и по шву (30—35 %), а также забивание рукавом неотряхиваемым слоем пыли (35—40 %). Разрывы рукавов в нижнем креплении связаны с износом ткани у кромки прижимного стакана. Отложение пыли на рукавах, связанное с нарушением процесса регенерации, приводит к провисанию рукавов и образованию в нижнем их креплении закупоривающей складки.

Применение сухих пылеуловителей, в частности рукавных фильтров, для обеспыливания газов электросталеплавильных печей имеет следующие особенности: при разбавлении отходящих от печи газов воздухом

Параметры	Раздельная газоочистка		Совмещенная газоочистка	
	от печи	от подфонарного зонта	в электро-фильтре	в рукавном фильтре
Количество газов перед очисткой, тыс. м ³ /ч	240	760	1000	1000
Общая производительность установки, тыс. м ³ /ч	1000	1000	1000	1000
Температура газов после охлаждения перед очисткой, °С	290	40	40—80	40—80
Запыленность газа перед очисткой, г/м ³	3	0,4	2	2
Скорость фильтрации, м ³ /(м ² ·мин)	—	—	—	1,1
Скорость газа в активном сечении электрофильтра	—	<1,35	<1,2	—
Капитальные затраты на газоочистку, тыс. руб	1400	1500	2500	—
Годовые эксплуатационные расходы на газоочистку, тыс. руб	735	665	1200	—

горючие компоненты газа (СО и Н₂) выгорают, вследствие чего система становится взрывобезопасной; в результате разбавления газа воздухом общий расход газа, подаваемого на газоочистку, увеличивается в 10—15 раз и более; аспирационные зонты в цехах располагаются над мостовыми кранами, обслуживающими печи, непосредственно под кровлей здания, в результате чего расходы отсасываемого воздуха пропорциональны высоте здания. Так, для цехов со 100-т печами эффективный отсос достигает 1 млн. м³/ч.

Имеется опыт использования фильтров с тканями из синтетических полиэфирных, полиамидных, полиакрилонитрильных и других материалов [141].

В последние годы наибольшее распространение для очистки газов электропечей получает очистка газов от пыли электрофильтрами и тканевыми фильтрами. Увеличение доли рукавных фильтров связано с улучшением свойств фильтровальных материалов, повышением удельной нагрузки, применением более совершенных способов регенерации ткани и конструкций фильтровальных аппаратов.

Для сокращения эксплуатационных затрат (главным образом, энергетических) наиболее перспективным направлением являются сооружение полного укрытия электропечей, установка газоочистных аппаратов на крыше сталеплавильного цеха, регулирование производительности дымососов, сокращение протяженности газоотводящего тракта, установка электрофильтров и тканевых фильтров и ряд других мероприятий.

7.10. ОЧИСТКА ДЫМОВЫХ ГАЗОВ ТЕПЛОВЫХ ЭЛЕКТРОСТАНЦИЙ

В энергетическом балансе многих стран 60—80 % вырабатываемой электроэнергии приходится на долю ТЭС, мощность которых непрерывно возрастает. Кроме того, с каждым годом в теплоэнергетике расширяется потребление низкокачественных углей, добываемых наиболее дешевым открытым способом. Эти обстоятельства решения проблемы чистоты воздушного бассейна в районе ТЭС. В настоящее время для очистки от золы дымовых газов котельных агрегатов ТЭС применяются несколько типов золоулавливающих аппаратов: сухие инерционные (механические) золоуловители, мокрые золоуловители, электрофильтры.

Очистка дымовых газов от золы скрубберами Вентури. На ТЭС широко применяются скрубберы Вентури, состоящие из турбулентного коагулятора, выполненного в виде трубы Вентури, и скруббера-каплеуловителя типа ЦС. Оба основных элемента могут монтироваться как раздельно, так и в одном корпусе. Трубы Вентури могут устанавливаться вертикально, наклонно или горизонтально.

Скрубберы Вентури чаще всего применяются на котлоагрегатах средней производительности, при сжигании углей с содержанием серы до 2,5 %, оксида кальция (СаО) до 15 % и при требуемой степени очистки газов от золы порядка 95—96 %.

Существенным достоинством золоуловителей Вентури применительно к ТЭС является возможность использования их для улавливания золы, весьма различной по дисперсному и физико-химическому составу. Эта возможность реализуется главным образом за счет изменения основных технологических параметров аппарата — скорости газов в горловине и удельного расхода орошающей жидкости. Чем тонкодисперснее зола, тем выше должны быть значения указанных параметров и соответственно тем больше гидравлическое сопротивление установки для обеспечения заданной степени очистки газов.

Кроме того, следует также отметить сравнительно высокую и стабильную степень очистки газов от золы, относительно невысокие капитальные и эксплуатационные затраты, возможность при определенных условиях надежной работы на оборотной воде. Последнее очень важно потому, что в связи с осуществляемым в последние годы переходом на замкнутые (оборотные) системы гидрозолоудаления (ГЗУ) наиболее приемлемыми аппаратами в этом отношении оказались скрубберы Вентури, так как они по сравнению с мокрым золоуловителем других типов в меньшей степени подвержены зарастанию отложениями. Это объясняется тем, что в аппаратах с трубами Вентури относительно невелика площадь зарастающих отложениями поверхностей, локализованных в основном на стенках трубы Вентури; кроме того, именно в трубе Вентури происходит интенсивное абразивное разрушение отложений частицами летучей золы, имеющими высокие скорости.

Эффективность улавливания пыли в скруббере Вентури зависит от большого количества факторов, к числу которых относятся скорость газа в горловине трубы Вентури, удельный расход орошающей жидкости, концентрация и дисперсный состав пыли в газовом потоке, физико-химические свойства пыли и др. Наибольшее влияние на эффективность улавливания оказывают скорость газа в горловине трубы Вентури и величина удельного орошения, увеличение которых повышает эффективность скруббера Вентури. Чем больше скорость газов, тем больше поверхность капель и тем выше степень улавливания.

При скорости дымовых газов в горловине трубы Вентури 60—

80 м/с и орошении 0,13 м³ воды на 1000 м³ газа степень очистки газа в аппарате достигает 95—96 %, что значительно выше, чем у остальных типов мокрых золоуловителей.

Одним из основных недостатков золоуловителей с турбулентным коагулятором Вентури является их высокое гидравлическое сопротивление, составляющее порядка 1500 Па и более [142].

Очистка дымовых газов от золы в электрофильтрах
На крупных энергоблоках тепловых электростанций СССР для достижения наиболее глубокой очистки дымовых газов используются установки современных электрофильтров. Применяемые методы по подавлению обратной короны или по предотвращению ее образования направлены главным образом на изменение электрофизических свойств продуктов сгорания. Общим для всех таких методов является существование, не менее чем на один—два порядка, снижение УЭС улавливаемой золы. В основе большинства методов лежит известная зависимость УЭС от температуры (см. гл. 1).

Снижение температуры уходящих дымовых газов может быть достигнуто путем сооружения более развитых, чем обычно, хвостовых поверхностей котлоагрегата или другими приемами. Однако в этом случае существенно усложняются эксплуатация и ремонт подобных котлоагрегатов в связи с интенсификацией коррозии и абразивного износа низкотемпературных поверхностей. Поэтому при сжигании топлив с чрезмерно высоким УЭС, как правило, не идут по пути глубокого охлаждения газов. Другой путь снижения УЭС золы заключается в размещении электрофильтров перед воздухоподогревателем в области температур газов около 350—400 °С. Преимущество этого направления состоит не только в достижении эффективной и стабильной очистки газов от высокоомной золы, но и в предотвращении загрязнения золой поверхности воздухоподогревателя.

Однако в этом случае существенно возрастают объемы газов, увеличиваются габариты и «горячих» электрофильтров, что приводит к увеличению капитальных затрат и затрудняет компоновку аппаратов в заданной ячейке блока. Кроме того, при установке «горячих» электрофильтров происходят дополнительные потери тепла с золой, имеющей температуру 350—400 °С. Эти потери могут составить около 1 % общего расхода топлива. Конструктивное выполнение и особенно эксплуатация «горячих» электрофильтров оказываются более сложными процессами ввиду больших термических расширений элементов оборудования, попадания горячей золы в систему золоудаления, дополнительных подсосов воздуха перед воздухоподогревателем.

Третьим направлением является кондиционирование дымовых газов. Кондиционирование заключается в изменении свойств дымовых газов путем добавления к ним химических веществ или водяного пара, адсорбирующих или конденсирующих на поверхности частиц золы и увеличивающих их поверхность проводимости. В качестве кондиционирующих добавок применяются серный ангидрид, водяной пар, аммиак и другие соединения. Несмотря на беспорочную эффективность химического кондиционирования, этот способ повышения эффективности улавливания золы с высоким УЭС пока еще не получил широкого распространения. Это обусловлено главным образом эксплуатационными трудностями и затратами, связанными с необходимостью получения, хранения, распределения и подачи в газопоток котлоагрегатов химических веществ, что для крупных электростанций является сложной задачей. Например, при использовании аммиака в качестве кондиционирующей добавки для угольной электростанции мощностью 4 млн. кВт понадобилось бы около 100 т/сут 25 %-ного раствора аммиака.

Одним из эффективных путей очистки продуктов сгорания с небла-

ХАРАКТЕРИСТИКИ ОСНОВНЫХ ВИДОВ ТЕХНИЧЕСКОГО УГЛЕРОДА И ПАРАМЕТРЫ ПЫЛЕГАЗОВОГО ПОТОКА

Вид технического углерода	Средний диаметр частиц, мкм	Удельная поверхность, м ² /г	Концентрация в газах, поступающих на очистку, г/м ³	Температура газов, поступающих на очистку, °С
Форсуночный ТМ-30	0,10—0,12	26—18	80—100	1200—1250
Ламповый ТМ-15	0,14—0,19	18—12	120—140	1150—1200
Печной газовый ТМ-33	0,05—0,06	40—30	12—15	1100—1150
Печной активный:				
ТМ-100	0,02—0,03	95—110	40—46	—
ТМ-70	0,03—0,04	70—85	55	—
Печной полуактивный ТМ-50	0,03—0,04	40—50	58—65	—

гоприятными электрофизическими свойствами является их температурно-влажностное кондиционирование, при котором изменяются свойства продуктов сгорания с одновременным воздействием на их температуру и влажностное содержание. Этот метод заключается в том, что очистка дымовых газов происходит в комбинированной золоулавливающей установке, состоящей из включенных последовательно по ходу газов мокрой ступени, предназначенной для предварительной очистки газов и их температурно-влажностного кондиционирования, и многопольного электрофильтра.

Опыт эксплуатации таких установок показал, что для практически полного предотвращения коррозии электродов электрофильтра необходимо, чтобы температура охлажденных продуктов сгорания (в данном случае экибастузского угля) после мокрой ступени были не ниже 90 °С [142].

Большие перспективы имеет охлаждение и увлажнение дымовых газов путем полного испарения влаги в газоходе перед электрофильтром. Это наиболее дешевый и простой способ кондиционирования, практически не требующий громоздкого дополнительного оборудования. Этот способ применим в основном при сжигании в котлах средне- и малозольных углей, когда в электрофильтре отсутствует запыление коронного разряда из-за чрезмерно высокой запыленности очищаемых газов. Вместе с тем способ полного испарения влаги при температурах газов 130—150 °С требует специальных форсунок, обеспечивающих очень тонкий распыл влаги, и увеличенной протяженности газоходов для исключения попадания капельной влаги в электрофильтр.

7.11. УЛАВЛИВАНИЕ ТЕХНИЧЕСКОГО УГЛЕРОДА ИЗ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ГАЗОВ

В производстве технического углерода источниками загрязнения атмосферы являются технологические газы, отходящие от реакторов, дымовые газы сушилок мокрой грануляции технического углерода, а также выбросы из линий пневмотранспорта продукта. В связи с жесткими требованиями (максимальная разовая концентрация технического углерода в атмосферном воздухе не должна превышать 0,15 мг/м³) степень очистки технологического газа в производстве технического углерода должна быть высокой. Поэтому в большинстве случаев газоочистные установки состоят из нескольких ступеней с применением пылеуловителей различных типов.

Различие характеристик технического углерода привело к необходимости применения неоднотипных технических решений по газоочистке (табл. 7.5) [29].

Улавливание форсуночного и лампового технического углерода. Образовавшийся в пламени копильной печи при недостаточном доступе воздуха технический углерод вместе с газообразными продуктами направляется по борову в холодильник, где смесь охлаждается за счет впрыскивания воды. Улавливание форсуночного и лампового технического углерода из газового потока на большинстве заводов осуществляется с помощью электрофильтров типа СГ, которые при скорости пылегазового потока 0,5—0,6 м/с обеспечивают степень очистки газов до 98—99 %.

При форсировании нагрузки реактора возрастают скорости газопылевого потока в электрофильтре, в связи с чем степень очистки аппарата снижается. Поэтому в промышленных условиях не ограничиваются одноступенчатой схемой очистки, а в сочетании с электрофильтром

применяют другие пылеулавливающие аппараты. Например, если за электрофильтром СГ установить последовательно два циклона, удастся уловить еще 80 % уносимого из электрофильтра технического углерода.

В производстве лампового технического углерода применение схемы циклон—электрофильтр—циклон при начальной концентрации технического углерода в газах, равной 135 г/м³, позволило снизить его содержание в газах после очистки до 0,13 г/м³, а схема электрофильтр—циклон—циклон дала снижение запыленности до 0,27 г/м³.

На ряде заводов с целью повышения степени улавливания форсуночного технического углерода электрофильтры СГ были модернизированы путем добавления к трем электрическим полям двух дополнительных. В реконструированном пятипольном электрофильтре при скорости пылегазового потока 0,57 м/с и температуре 220 °С содержание технического углерода было снижено с 69,4 г/м³ на входе в аппарат до 0,019—0,05 г/м³ на выходе.

Улавливание печного активного и полуактивного технического углерода. Из-за высокой дисперсности активный и полуактивный технический углерод с помощью описанных выше систем не может улавливаться достаточно полно (средний размер частиц не превышает 0,1 мкм). Даже при небольшой скорости газа трехпольный электрофильтр СГ и установленные за ним две ступени циклонной очистки не могут уловить более 95 % частиц. Поэтому применяют системы с доулавливанием в аппаратах мокрого типа.

Схема улавливания печного полуактивного технического углерода ТМ-50 с мокрой доочисткой газов показана на рис. 7.29. Из реакторов газовая смесь, охлажденная до 250—280 °С и увлажненная до содержания 35—37 % (объемн.) водяных паров, поступает в систему улавливания. Вначале газы проходят через трехпольный электрофильтр 1, где осаждается часть технического углерода и происходит электрическая коагуляция частиц. Последующая очистка газов осуществляется в двух последовательно установленных циклонах 2 типа СК-ЦН-34. Далее следует доочистка газов в аппаратах мокрого типа, соединенных последовательно по схеме пенный аппарат—труба Вентури—пенный аппарат. Первый пенный аппарат 3 однополочный, работает в провальном ре-

ХАРАКТЕРИСТИКИ РАБОТЫ СИСТЕМЫ УЛАВЛИВАНИЯ
ТЕХНИЧЕСКОГО УГЛЕРОДА ТМ-50

Показатели	Электро- фильтр	Два последо- вательных циклона СК-ЦН-34	Однополоч- ный пенный аппарат	Труба Венту- ри—двухпо- лочный пен- ный аппарат
Расход газа, м³/с	6,6—6,9	6,2—6,6	2,6—2,9	—
Гидравлическое сопротивление, кПа	0,33—1,54	9,2—13,1	3,8—8,4	26,8—47,5
Температура га- зов, °С	250— 260/230	230/172— 185	172—185/ 69—72	69—72/ 30—40
Запыленность га- зов, г/м³	40—53/ 5,5—26,1	5,5—26,1/ 2,5—3,6	2,4—3,8/ 1,17—1,55	1,17—1,55/ 0,044—0,08
Степень очистки, %	51—86	54—86	36,6—60	94,7—97,4

Примечание. В числителе приведены показатели на входе в пылеуловитель, в знаменателе — на выходе.

жиге. Его назначение — предварительная очистка газов, охлаждение их до 75—80 °С и подготовка газов (насыщение влагой) перед трубой Вентури. Размеры аппарата в плане 1,2×1,7 м, высота 4,1 м; живое сечение решетки 30 %. В трубе Вентури 4 при скорости газа 100 м/с осуществляется коагуляция мелких частиц углерода, не уловленных в предыдущих аппаратах. Благоприятные условия для более полной коагуляции создаются вследствие того, что газы охлаждаются ниже

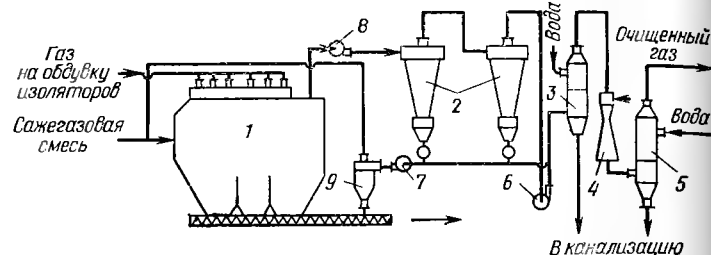


Рис. 7.29. Схема очистки газов с мокрым доулавливанием технического углерода

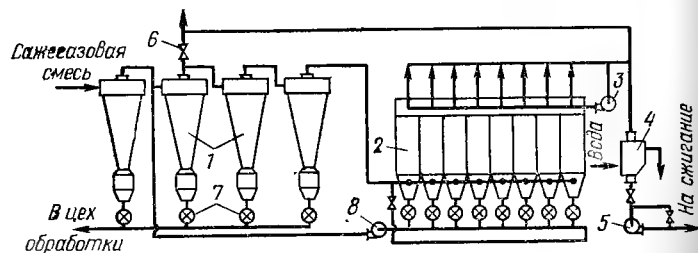


Рис. 7.30. Схема улавливания технического углерода по сухому способу

точки росы. Труба Вентури 4 орошается оборотной водой, осветленной в отстойниках. Труба расположена вертикально, факел воды из форсунки направлен вниз. Установленный за трубой Вентури двухполочный пенный аппарат 5, используемый в качестве каплеуловителя, работает в беспровальном режиме с переливом жидкости через пороги. Аппарат прямоугольного сечения размером 1,7×1,2 м, высотой 5,4 м; живое сечение решетки 22,5 %.

Уловленный в циклонах технический углерод поступает в систему пневмотранспорта. С помощью вентиляторов 6, 8 давление в циклонах на 1—2 ГПа превышает давление в линии пневмотранспорта, что облегчает выгрузку продукта из бункеров. Газ для пневмотранспортирования отбирается от напорной линии вентилятором 7. В системе пневмотранспорта установлен циклон 9. Технический углерод отделяется в нем от транспортирующего потока и через шлюзовой затвор подается в шнек электрофильтра, а газ направляется на доочистку в электрофильтр. Основные показатели описанной выше системы приведены в табл. 7.6.

Основным недостатком мокрых ступеней очистки является наличие большого оборота загрязненной технического углеродом кислой воды от пенных аппаратов.

Освоение выпуска стеклоткани, устойчивой к влажным газам при температурах 200—250 °С, расширило возможности использования рукавных фильтров в производстве технического углерода. Этими аппаратами оснащаются новые заводы, производящие активный и полуактивный виды технического углерода.

На рис. 7.30 приведена схема улавливания технического углерода, работающая по сухому методу и включающая в себя циклоны и рукавный фильтр. В сажегазовую смесь после реакторов в холодильнике впрыскивают распыленную форсунками воду. При таком способе охлаждения создаются благоприятные условия для коагуляции частиц технического углерода, таким образом повышается степень осаждения его в циклонах. Из холодильника поток направляется в четыре последовательно установленных циклона 1 типа СК-ЦН-34. Последующая очистка осуществляется в фильтре 2 со стеклотканевыми рукавами. Корпус фильтра разделен на восемь секций, под которыми имеются конусообразные бункера. Газы по входному коллектору поступают в нижнюю бункерную часть фильтра. Некоторая доля частиц оседает в бункерах. Остальные вместе с газом через отверстия в горизонтальных плитах, к которым крепятся нижние концы рукавов, направляются в рукава и задерживаются на их внутренней поверхности. Очищенные газы проходят в пространство между рукавами, а затем через коллектор чистого газа удаляются из фильтра.

Очистка рукавов путем обратной продувки воздухом недопустима, так как очищаемые газы взрывоопасны. Поэтому рукава продувают очищенными газами. Обдувочный вентилятор 3 отбирает часть газа из коллектора очищенных газов и нагнетает их через коллектор обдувочного газа в дроссель в ту секцию фильтра, которая в данный момент регенерируется. Обдувочные газы проходят через ткань рукавов с внешней стороны и сдувают осадок с внутренней поверхности в бункер. На время регенерации закрывается дроссель, соединяющий регенерируемую

ТАБЛИЦА 7.3

**ХАРАКТЕРИСТИКИ РАБОТЫ АППАРАТОВ ПРИ УЛАВЛИВАНИИ
ТЕХНИЧЕСКОГО УГЛЕРОДА**

Показатели	Циклоны	Фильтр
Скорость газов, м/с	1,5—1,7	—
Удельная газовая нагрузка, м ³ /(м ² ·мин)	—	0,35
Гидравлическое сопротивление одного циклона, кПа	4—8	16—18
Содержание технического углерода в газе на выходе из аппарата, г/м ³	10	0,1
Температура газа, °С:		
на входе	270	230
на выходе	230	200
Степень улавливания, %	80—85	96—99

секцию с коллектором очищенного газа. Более высокий напор, создаваемый вентилятором 3, позволяет направить обдучочные газы во входной коллектор грязных газов, откуда они распределяются по секциям фильтра. Очищенные в фильтре газы через секторный гидрозатвор 4 вентилятором 5 подаются на сжигание в котлы-утилизаторы. За первым циклоном предусмотрена задвижка 6, позволяющая направлять газы в атмосферу во время растопки реактора или в случае аварийного повышения температуры газов перед рукавным фильтром более 250 °С. Все аппараты работают под избыточным давлением до 7 кПа в циклонах и до 2,5 кПа в рукавных фильтрах. Это исключает подсос наружного воздуха, который мог бы привести к возникновению взрывов в аппаратах.

Технический углерод, уловленный в циклонах, через шлюзовые затворы 7 выводится в линию пневмотранспорта. Транспортирование технического углерода, поступающего от шлюзовых питателей бункеров рукавного фильтра, осуществляется газами, отбираемыми от основного потока вентилятором 8. Давление в линии пневмотранспорта на 2—4 ГПа ниже, чем в секциях рукавного фильтра, что облегчает выгрузку продукта из бункеров. Основные данные по работе аппаратов сухой системы улавливания технического углерода приведены в табл. 7.7.

7.12. ОЧИСТКА ГАЗОВ ПРИ ПРОИЗВОДСТВЕ СИНТЕТИЧЕСКИХ МОЮЩИХ СРЕДСТВ

Технологический процесс производства синтетических моющих средств (СМС) включает следующие основные стадии: приём и подготовка сырья, приготовление композиции, сушка, очистка отходящих газов, расфасовка порошка. Основным компонентом СМС являющиеся вещества, обладающие поверхностно-активными свойствами (ПАВ). Из них наибольшее распространение получили алкилсульфаты, алкилбензолсульфонаты и алкилсульфонаты натрия. Помимо ПАВ, в состав СМС входят

другие твердые и жидкие компоненты. Примерный состав СМС следующий, % (по массе):

ПАВ	20—40
Триполифосфат натрия	5—40
Карбонат натрия	0—15
Карбоксиметилцеллюлоза	0—2
Силикат натрия	0—5
Алкилоламыды	0—2
Оптический отбеливатель	0,1
Отдушка	0,1
Вода и сульфит натрия	Остальное

Основное количество СМС получают методом распылительной сушки. Сушка производится в специальных сушильных башнях. При высушивании СМС применяется, как правило, противоточный метод движения распыленной композиции и теплоносителя, которым служит смесь воздуха и продуктов сгорания газообразного топлива или мазута. Выходящий из сушилки порошок имеет температуру 50—70 °С и влажность до 13 %. При этих параметрах порошок не пригоден к расфасовке по причине недостаточной механической прочности гранул. Поэтому при окончательной обработке порошок охлаждают и добавляют к нему негигроскопичные компоненты (перборат натрия, энзимы), отвешивают и просеивают. Для охлаждения порошка применяют эрлифт или систему ленточных транспортеров.

Основными загрязнителями атмосферы при производстве СМС являются: отработанный теплоноситель после распылительной сушилки;

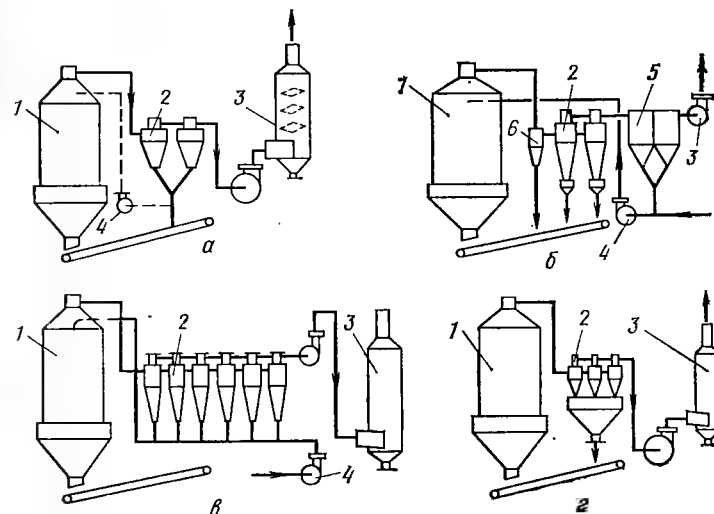


Рис. 7.31. Промышленные схемы пылеулавливания на предприятиях СМС:

а — установка «Кестнер»; 1 — сушилка; 2 — циклоны; 3 — скрубберы; 4 — система пневмотранспорта; б — установка «Лурги»; 1 — сушилка; 2 — циклоны; 3 — дымосос; 4 — система пневмотранспорта; 5 — батарейный циклон; 6 — механический пылеуловитель; в — установка «Баллестро»; 1 — сушилка; 2 — циклоны; 3 — скруббер; 4 — система пневмотранспорта; г — установка в г. Кишинев; 1 — сушилка; 2 — циклоны; 3 — скруббер

воздух из эрлифта и аспирационных систем, отсасываемый из узлов пыления при транспортировке и переработке исходных компонентов и готового продукта [29].

В стране эксплуатируется ряд импортных и отечественных установок, оснащенных различными системами улавливания пыли СМС (рис. 7.31) из отходящих газов. Установка «Кестнер» (Франция) имеет двухступенчатую систему очистки, включающую в себя группу из четырех

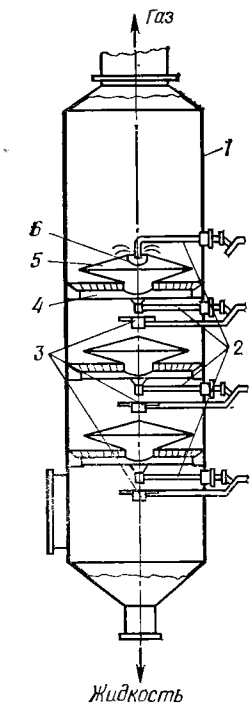


Рис. 7.32. Скруббер «Диссон»:
1 — корпус; 2 — ввод орошающего раствора; 3 — паровые форсунки; 4 — жалюзи; 5 — тарелки; 6 — стакан

циклонов диаметром 1800 мм и два тарельчатых скруббера типа «Диссон», работающих параллельно. Циклон «Кестнер» имеет тангенциально расположенный входной патрубок небольшого сечения, короткую конусную часть и малое сечение пылевыгрузочной трубки; выхлопная труба цилиндрическая. Уловленная пыль через шиловые затворы, установленные под каждым из циклонов, сыпается на транспортер порошка либо пневмотранспортом возвращается в сушилку. Газы из циклонов нагнетаются дымососом в скрубберы.

Скруббер «Диссон» (рис. 7.32) представляет цилиндрический аппарат диаметром 2400 мм с конусным дном. Газ подводится тангенциально в нижнюю часть аппарата. В корпусе установлены три линзовидные тарелки. В межтарелочном пространстве расположены жалюзи в виде кольца с наклонными радиальными лопатками. Скрубберы орошают раствором СМС с концентрацией до 40 %, который подается на каждую из тарелок.

Система очистки газов из распылительных сушилок фирмы «Лурги» (ФРГ) трехступенчатая. Первая ступень — предварительный пылеуловитель, где отделяются наиболее крупные частицы СМС при резком повороте газового потока на 90°. Вторая ступень — группа из четырех циклонов Давидсона. Циклон имеет удлиненный конус с форбункером. Спиральный входной и выхлопной патрубки большого сечения. Третья ступень очистки — батарейный циклон из двух секций, в каждой из которых по 96 циклонных элементов диаметром 230 мм с восьмилопаточными закручивающими устройствами типа «розетка». Пыль из пылеосадителя и циклонов через шиловые затворы сбрасывается по течкам на транспортер порошка из сушилки. Пыль из батарейного циклона пневмотранспортом возвращается в сушилку, а очищенные газы выбрасываются эксгаустером в атмосферу. На Ленинградском заводе схема дополнена мокрой ступенью очистки — двумя скрубберами «Диссон».

Установки «Баллестро» (Италия) укомплектованы только одной ступеню очистки — группой из 12 циклонов Ван-Тонгерена диаметром 1000 мм. Они имеют спиральный входной патрубок, развитую коническую часть с цилиндрической вставкой.

Выгрузка уловленной пыли осуществляется периодически через двойные плоские мигалки с пневмоприводом в систему пневмотранспорта на возврат в сушилку. Система обеспыливания отработанного теплоносителя на однопоточных отечественных установках производительностью 60 тыс. т СМС в год дополнена центробежным скруббером ВТИ диаметром 3416 и высотой 12860 мм.

Воздух из сепаратора эрлифта на установках фирмы «Баллестро» обеспыливается в группе из шести циклонов диаметром 800 мм. На однопоточных отечественных распылительных сушилках в системе эрлифта устанавливаются центробежные скрубберы ВТИ.

Установка СМС в г. Кивийлы оснащена двухступенчатой системой улавливания пыли, в которой первой ступенью является группа из шести циклонов ЦН-15 диаметром 800 мм, а второй тарельчатый скруббер.

Аспирационный воздух на предприятиях СМС обеспыливается с помощью двухступенчатых схем очистки с применением циклонов ЦН-15 и рукавных фильтров. Максимальная степень чистки газов от пыли СМС в циклонах достигается при следующих скоростях газа в сечении аппаратов различной конструкции:

Тип циклона	Скорость, м/с
СЦН-40	1,4—1,6
СКЦН-34	1,8—2,0
Ван-Тонгерена	1,8—2,5
Кестнера	1,2—1,5
Давидсона	3,0—4,0

В табл. 7.8 приведены основные показатели систем пылеулавливания [29].

7.13 ОБЕСПЫЛИВАНИЕ ГАЗОВ ПРИ ПРОИЗВОДСТВЕ СЛОЖНЫХ МИНЕРАЛЬНЫХ УДОБРЕНИЙ

Основными компонентами выбросных газов при производстве фосфорных удобрений являются пыль, аммиак и фтористые газы. Характеристики газопылевых выбросов основных производств фосфорных удобрений приведены в табл. 7.9.

Аппаратурное оформление систем газопылеулавливания производства фосфорных удобрений зависит от состава и количества выделяющихся газов и от возможности их утилизации. В связи с тем что при абсорбции фтористых газов выделяются фториды кремния и другие твердые примеси, применяют аппараты, в которых не происходит отложения осадка. Выбор типа аппарата затруднен также ввиду необходимости тщательной коррозионной защиты оборудования и наличия больших объемов газовых потоков.

Обеспыливание газов после сушильных барабанов. Сушильные барабаны применяют для сушки кварцита и кокса, а также фосфорита (при неполной технологической схеме подготовки сырья). Основным видом топлива в сушильных барабанах является природный газ. Температура газа в топке 1200—1400 °С, на входе в барабан 780 °С, на выходе 260 °С. Основные характеристики пылегазовых выбросов сушильных барабанов и физические свойства уловленной пыли приведены в табл. 7.10 и 7.11.

Пыль, выделяющаяся при сушке сырья в барабанах, относится к группе мелкодисперсных. Для очистки дымовых газов сушильных барабанов от пыли обычно применяют схему очистки, состоящую из двух

ХАРАКТЕРИСТИКА СИСТЕМ ОБЕСПЫЛИВАНИЯ ГАЗОВ В ПРОИЗВОДСТВАХ СМС

Предприятие	Расход газа, тыс. м³/ч	Запыленность, г/м³		Степень очистки, %		Гидравлическое сопротивление системы, гПа	Примечания
		на входе	на выходе	по ступеням	общая		
Установка «Кестнер» (Франция)							
Волгодонский химический завод	59,5	16,0	0,82—2,29	25,7—56,3; 61,2—98,4	85,0—99,0	85,0	2-я ступень — две трубы Вентури с каплеуловителями
Свердловский жиркомбинат	57,5	9,7	0,15	30,0; 90,0; 78,0	98,5	29,0	1-я ступень — инерционный пылесадитель
Ташкентский завод СМС	64,8	4,9	0,13	69,0; 79,2; 57,0	97,3	27,6	1-я ступень — прямоточный циклон «Тайфун»
ПО «Куйбышевфосфор»	65,6	15,2	0,20	67,3; 85,5; 66,4	99,0	26,4	То же
Шебекинский химический завод	68,7	10,2	0,57	91,9; 29,4	94,3	41,0	1-я ступень — шесть циклонов «Кестнер»
Установка «Лурги» (ФРГ)							
Красноводский нефтеперерабатывающий завод	122	8,2	0,67—1,05	5,4; 58 64,0—77,7	85,7—91,1	22,7	—
Ленинградский комбинат СМС им. Карпова	96,3	16,1	0,05	5,3; 94,3; 80,5; 64,5	99,7	25,9	4-я ступень — два скруббера «Диссон»
Славянское ПО «Химпром»	88,4	7,5	0,09	8,3; 94,3; 75,2	98,8	16,9	—
Установка «Баллестро»							
Ангарский нефтехимкомбинат	117	9,3	0,65	93,0	93,0	17,3	2-я ступень — скруббер (не работает)
Сумгаитский завод СМС	102	2,6	0,09	71,5; 86,3	96,1	38,0	—
Распылительная сушилка							
Сланцехимический комбинат «Кивийли»	48,1	3,8	1,9	93,9	93,9	13,2	2-я ступень — скруббер (не работает)
Эрлифты							
Ангарский нефтехимкомбинат	41,7	9,9	0,26	97,3	97,3	25,5	1-я ступень — шесть циклонов Ван-Тонгерена D=800 мм
СХК «Кивийли»	27,8	22,0	1,5	91,8	91,8	7,5*	1-я ступень — шесть циклонов СИОТ; 2-я ступень — скруббер «Диссон»
Сумгаитский завод СМС	47,6	2,3	0,5	До 40%; 63,0—74,0	75,0	30	1-я ступень — шесть циклонов Ван-Тонгерена; 2-я ступень — скруббер ЦС-ВТИ

* Гидравлическое сопротивление циклонов.

ТАБЛИЦА 7.9

ХАРАКТЕРИСТИКА ГАЗОПЫЛЕВЫХ ВЫБРОСОВ ОСНОВНЫХ
ПРОИЗВОДСТВ ФОСФОРНЫХ УДОБРЕНИЙ

Продукт и технологическая стадия производства	Расход газа в системе абсорбции, тыс. м ³ /ч	Состав газопылевых выбросов	Содержание в газовой фазе, г/м ³	
			общего фтора	пыли
Экстракционная фосфорная кислота . . .	20—25	Пыль, пары серной и фосфорной кислот, HF, SiF ₄ , пары воды	0,5—2,5	—
Концентрирование экстракционной фосфорной кислоты (барботажный метод) . . .	30	То же	3—9	—
Простой суперфосфат (операционное отделение)	20—30	SiF ₄ , пары воды и серной кислоты	15—40	—
Двойной суперфосфат камерный, сушка . . .	20—50	HF, SiF ₄ , пыль, пары воды	4—7	10—20
Операционное отделение	13—35	Пары воды и серной кислоты, HF	0,1—0,6	—
Двойной суперфосфат бескамерный, сушка	30	То же, с преобладанием HF	3—5	10—20
Охлаждение	20—30	HF, SiF ₄ , пыль, пары воды	0,05—0,1	30—70
Гранулированный суперфосфат, сушка	30—35	То же	0,3—0,5	8—10
Охлаждение	30—35	»	0,05—0,1	30—70
Обесфторенные фосфаты	40—50	HF, SiF ₄ , пыль	1—3	0,5—1
Аммофос и другие сложные удобрения	20—50	HF, SiF ₄ , NH ₃ и др.	0,05—0,1	—

групповыми циклонами, а от фосфоритной и коксовой — двумя последовательно установленными групповыми или батарейными циклонами; достигает 92—93 % (рис. 7.33) [29].

Обсепывание газов при высокотемпературной сушке и обжиге фосфорита. Основные узлы образования газопылевых выбросов от обжиговых машин — это установка разлома мелочи сырого фосфорита класса 10—0 мм и обожженного возврата класса 8—0 мм, установка гранулирования пыли фосфорита и собственно обжиговая машина. Особенность схемы пылеосаждения установки разлома — совмещение технологических и санитарных функций аппаратов газоочистки. Вся образующаяся в мельнице пыль, осажденная в циклонах и рукавном фильтре, направляется на гранулирование для дальнейшего использования.

ТАБЛИЦА 7.10

ХАРАКТЕРИСТИКА ПЫЛЕГАЗОВЫХ ВЫБРОСОВ СУШИЛЬНЫХ БАРАБАНОВ
(ПЕРЕД СИСТЕМОЙ ОЧИСТКИ)

Показатель	Фосфорит	Кварцит	Кокс
Расход газа, тыс. м ³ /ч	19—23	16—18,5	40—45
Запыленность, г/м ³	20—28	25—32	6—20
Пылеунос, кг/т. сырья	10—14	16	18
Средний медианный диаметр пыли, мкм	15	9	40

параллельных систем. Очистка от кварцитовой пыли осуществляется Обычно применяются двухступенчатые схемы очистки, где в качестве первой ступени используются циклоны, а в качестве второй — рукавный фильтр. Показатели работы установок приведены в табл. 7.12.

Применяются также схемы очистки, в которых используется скрубберная батарея фирмы «Фридрих Уде» (ГДР). Предварительная подготовка газа проводится в этом случае в вертикальном орошаемом газозооде диаметром 1400 мм и в двух последовательно установленных скрубберах (рис. 7.34).

В этих аппаратах вращательное движение пылегазового потока обеспечивает завихритель, состоящий из полого цилиндра диаметром 500 мм, снабженного лопатками, расположенными под углом 30° к оси по шестизаходной винтовой линии. Под действием центробежных сил диспергированные капли промывной жидкости выделяются из пылегазового потока, оседая на внутренних поверхностях аппарата. Каплеуловитель работает по принципу разрыва пленки жидкости.

Расход циркулирующей воды (проходящей стадию отстаивания от шлама) на орошение скрубберов 1—2 м³/ч на один скруббер. Общее количество промывной воды составляет примерно 0,4 л на 1 м³ газа. Гидравлическое сопротивление скруббера 4,5—5 кПа, всей скрубберной установки 16—17 кПа при расходе газа 38,8—45,0 тыс. м³/ч, запыленности 2,5—3,8 г/м³.

Степень очистки от пыли составляет 93,8 %, а от соединений фтора и фосфора 35—65 %. На рис. 7.35 представлена принципиальная схема

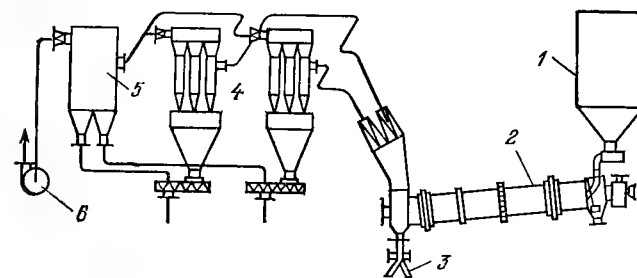


Рис. 7.33. Схема сушки фосфорита в барабане:

1 — сырьевой бункер; 2 — сушильный барабан; 3 — точки для высушенного продукта; 4 — циклоны; 5 — батарейный циклон; 6 — вентилятор

ТАБЛИЦА 7.11

ХАРАКТЕРИСТИКА ПЫЛЕЙ

Показатель	Фосфорит	Кварцит	Кокс
Плотность, г/см ³	3,0	2,4	1,9
Насыпная плотность, г/см ³	1,051—1,337	1,62—1,85	0,88—0,99
Угол естественного откоса, град	45,4	40,5	36,4
Угол скольжения, град	40	34	26,4
Коэффициент трения	0,450	0,475	0,480
Сила когезии, г/см ²	0,157	0,150	0,031
Порозность, %	84,1	75,0	65,04

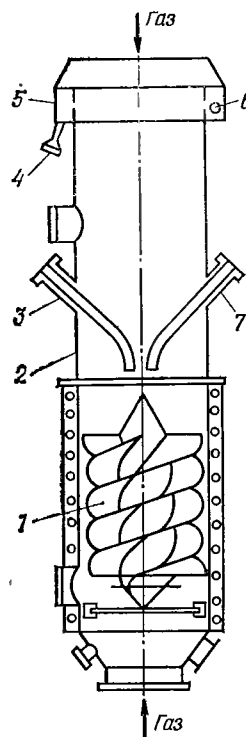


Рис. 7.34. Скруббер распыляющего типа:

1 — завихритель; 2 — корпус; 3, 7 — форсунки; 4, 6 — штуцера для слива жидкости из каплеуловителя; 5 — каплеуловитель

ма установки. Газы из зоны сушки подаются на скрубберную батарею, состоящую из орошаемого газохода и двух параллельных батарей по четыре скруббера в каждой. На эту батарею поступает газ из зон обжига и охлаждения после предварительной очистки в спаренном циклоне.

Степень очистки от пыли в скрубберах составляет 91 %. Применяется также двухступенчатая схема, состоящая из циклонов и пенных аппаратов.

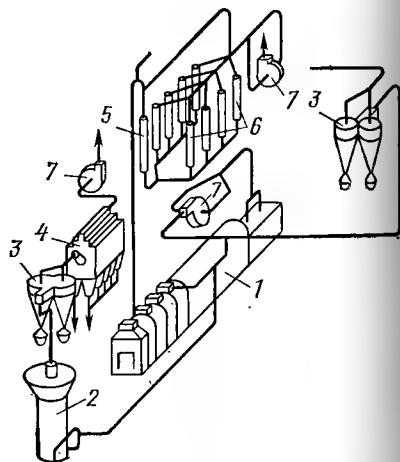


Рис. 7.35. Схема очистки газов обжиговой машины:

1 — обжиговая машина; 2 — мельница; 3 — циклон; 4 — рукавный фильтр; 5 — орошаемый газоход; 6 — батарея скрубберов; 7 — вентилятор

ТАБЛИЦА 7.12

ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ ПЫЛЕУЛОВИТЕЛЕЙ МЕЛЬНИЧНОЙ УСТАНОВКИ

Показатель	До циклонов	После циклонов	После рукавного фильтра
Расход воздуха, тыс. м ³ /ч	92	94	100
Скорость пылевоздушного потока, м/с	40	33	24,5
Запыленность, г/м ³	105—470	5—7	0,55
Пылеунос, кг/ч	44 500	1750	55—540
Степень очистки отдельных ступеней, %	—	90—96	69—96
Общая степень очистки, %	—	98,8	98,8

Основные свойства фосфоритной пыли приведены в табл. 7.13. Обеспыливание газов, отходящих из зоны обжига шахтных щелевых печей, осуществляется в батарейном циклоне, а из зоны охлаждения — в групповом циклоне.

Пылевые выбросы при агломерации фосфорита. Спекание мелочи — перспективный метод использования в производстве мелких фракций фосфорита. Для фосфорной промышленности этот способ подготовки руды изучен недостаточно. Имеющийся опыт переработки на агломашике К-2-50 фосфорной мелочи на агломерат позволил получить следующие данные как по технологическому режиму, так и по характеристикам газопылевых выбросов, которые приведены в табл. 7.14 и 7.15.

Очистка газов при электровозгонке фосфора. Руднотермическую печь можно рассматривать как химический реактор. Продукты возгонки — печные газы, содержащие пары фосфора, газообразные соединения основных и побочных реакций, протекающих в печи, возгоны и пыль шихты — направляются в двухпольный электрофильтр, где во избежание конденсации паров фосфора поддерживается температура 237—287 °С за счет обогрева циркулирующим в рубашке горячим инерт-

ТАБЛИЦА 7.13

ХАРАКТЕРИСТИКА ПЫЛИ ФОСФОРИТА

Показатель	Из мельниц	Из щелевой печи (зоны обжига)	Показатель	Из мельниц	Из щелевой печи (зоны обжига)
Плотность, г/см ³	3,1	2,68	Угол скольжения, град	30,3	28,0
Насыпная плотность, г/см ³	1,0—1,31	1,05—1,32	Коэффициент трения	0,426	0,453
Угол естественного откоса, град	45,6	43,0	Сила когезии, г/см ²	0,121	0,135
			Порозность, %	83,4	85,0

ТАБЛИЦА 7.14
ХАРАКТЕРИСТИКА ГАЗОПЫЛЕВЫХ ВЫБРОСОВ ПРИ АГЛОМЕРАЦИИ
ФОСФОРИТА

Место отбора проб	Температура, °С	Разрежение в камере, кПа	Расход газов, м³/ч	Скорость газового потока, м/с	Относительная влажность, %	Запыленность, г/м³	Пылеунос, кг/ч
Вакуум-камеры:							
1	39	12,70	7,2	6,19	40	2,680	19,3
2	40	12,25	10,2	8,62	53	0,636	6,5
3	47	12,10	12,6	10,60	43	0,692	8,75
4	46	11,70	11,0	10,90	13	0,607	6,67
5	45	11,95	9,6	9,72	13	0,457	4,3
6	48	12,35	9,5	8,70	10	0,400	3,6
7	52	11,55	5,4	5,40	—	0,224	1,19
8	54	11,95	5,4	5,35	—	0,240	1,3
9	50	11,95	5,1	4,85	—	0,478	2,43
10	52	10,98	6,6	6,54	29	0,155	1,02
11	53	12,24	5,0	4,44	10	0,543	2,72
12	53	12,24	6,5	6,40	10	0,900	5,85
13	53	12,37	10,7	10,10	10	6,300	67,0
Перед батарейным циклоном	40	13,30	11,7	—	—	4,700	55,0
После батарейного циклона	39	13,60	11,7	—	—	0,117	13,7
Питатель возврата	17	13,00	2,6	60,50	—	44,000	120,0
Хвостовая часть агломашины	20	0,10	2,6	—	—	1,94	5,1
Бункер возврата	20	0,13	7,2	1,30	—	1,300	14,8

ным газом. Пыль, уловленная в электрофилтре, удаляется водой в виде суспензии — коттрельного молока.

Печные газы на входе в электрофилтр содержат 5—120 г/м³ полидисперсной пыли. Образование пыли связывается с тремя основными процессами в фосфорной печи: взаимодействием при высоких температурах материалов руды между собой и с восстановителем, испарением оксидов и возгонкой легкоплавких компонентов, механическим разрушением шихты при ее транспортировке в бункерах и течках печи.

Анализ твердой фазы коттрельного молока и пыли, отобранной с электродов электрофильтров, показывает присутствие в пыли оксидов кремния, фосфора, кальция, калия, натрия, магния, железа, алюминия, свинца, цинка, а также элементарного углерода и микропримесей олова, мышьяка, бария, галлия, марганца и ряда других элементов. Кроме того, в пылевой фазе обнаруживаются липкие смолообразные продукты, довольно хорошо растворимые в воде. От эффективности очистки печных газов от пыли зависят качество получаемого фосфора, количество шлама, состав и количество сточных вод, объем работ по переработке шлама и очистке сточных вод.

Современные фосфорные печи мощностью 48 МВА снабжены двумя системами двухполюсных электрофильтров ЖФП-7м. При начальной запыленности 73 г/м³ степень очистки составила 99,3 % (конечная запыленность 0,49 г/м³). В последние годы фосфорные печи оснащаются новейшими электрофилтрами типа ЭВФ, имеющими ряд принципиальных конструктивных отличий от филтра ЖФП. Главное их достоинст-

во — увеличенная почти вдвое площадь активного сечения и соответственно повышенная пропускная способность в сочетании с высокой степенью пылеулавливания.

Наряду с печными газами, сжигаемыми на факелах, источниками загрязнения атмосферы при производстве фосфора являются аспирационные выбросы от загрузочных бункеров печи, от леток и желобов выпуска шлама, от установок переработки шлама, а также аэрозоли, выделяющиеся при розливе феррофосфора. Аспирационные газы от печных бункеров и мест пересыпки поступают в рукавные фильтры типа ФВК-90 или РФГ-УМС.

При сливе шлама образуются сложные аэрозольные системы, содержащие соединения фтора, фосфора и серы в относительно невысоких концентрациях. Твердая фаза аэрозоля представлена высокодисперсными частицами со сложным химическим составом. Среднемедианный размер пылевых частиц 1,2—1,4 мкм. Содержание фракции 0—5 мкм более 70 %, плотность пыли 2,4 г/см³. Печи оборудованы различными схемами газоочистки: двух- или трехполочными пенными аппаратами, скрубберами с винтовой насадкой.

Обеспыливание газов при производстве фосфоритной муки. Фосфоритная мука является основным сырьем при производстве фосфорных удобрений, а также хорошим длительно действующим удобрением для кислых почв. Фосфоритную муку получают, подвергая природные фосфаты размолу и обогащению методами сухой или мокрой аспирации, обжига или флотации. Процессы обогащения сопровождаются уносом пыли с воздухом из аспирационных систем и с газами из сушильных аппаратов. На рис. 7.36 приведена схема установки для очистки газов, отходящих от сушильных барабанов при производстве фосфоритной муки. Отходящие газы через разгрузочную камеру сушильного барабана

ТАБЛИЦА 7.15
ХАРАКТЕРИСТИКА ПЫЛИ АГЛОМЕРАЦИОННЫХ ГАЗОВ

Показатель	Из мультициклона			Из пылеуловителя системы аспирации хвостовой части агломашины
	камера грязного газа	камера чистого газа	бункер	
Химический состав, % (по массе):				
SiO ₂	22,62	22,48	24,78	30,70
P ₂ O ₅	18,95	12,20	14,50	12,70
CaO	29,20	21,00	24,20	21,05
MgO	3,14	1,43	1,43	—
Fe ₂ O ₃	11,55	11,55	5,7	—
Al ₂ O ₃	1,86	3,08	3,20	—
F	1,48	3,46	1,98	—
CO ₂	2,03	1,13	2,44	—
S	6,25	14,39	13,73	—
Нерастворимый осадок	25,78	25,58	28,42	35,06
П. п. п.	9,49	22,48	29,69	—
Насыпная плотность, г/см³ . .	0,95—1,33	0,87—1,25	0,87—1,12	0,77—1,10
Угол естественного откоса, град .	40	45	46	41

ПОКАЗАТЕЛИ РАБОТЫ ГАЗООЧИСТНОЙ УСТАНОВКИ
СУШИЛЬНЫХ БАРАВАНОВ

Показатели	Циклоны	Электро- фильтр	Пенные аппараты
Расход газа, тыс. м ³ /ч . . .	47	56	61
Температура очищаемого газа, °С	110	109	44
Скорость газа в аппарате, м/с	3,28	0,85	1,8
Запыленность, г/м ³ : на входе	298	37,5	2,8
на выходе	37,5	2,8	0,80
Гидравлическое сопротивление, кПа	2,5	1,0	—
Пылеунос, кг/ч	—	—	30
Степень очистки в аппарате, %	85,9	91,8	77,2
Общая степень очистки, %	99,72		

поступают в трехступенчатую установку, где в качестве первой ступени используется батарейный циклон, второй ступеню является электрофильтр; после электрофильтра газы направляются в пенные аппараты, которые обеспечивают окончательную очистку и одновременно подогревают воду, используемую в основном технологическом процессе. Охлажденный и очищенный газ выбрасывается в атмосферу.

Показатели работы установки приведены в табл. 7.16.

Очистка газов при производстве суперфосфатов. Большие объемы газопылевых выбросов образуются при получении гранулированного суперфосфата на стадиях сушки, грохочения, охлаждения и транспортировки продукта. Очистку газов осуществляют по двухступенчатой схеме. В качестве

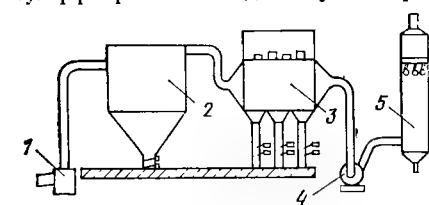


Рис. 7.36. Схема очистки газов сушильных барабанов при производстве фосфоритной муки:

1 — сушильный барабан; 2 — батарейный циклон; 3 — электрофильтр; 4 — дымосос; 5 — скруббер

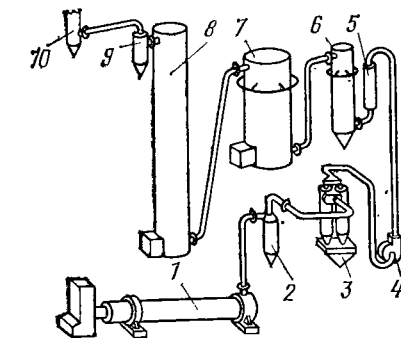


Рис. 7.37. Схема очистки газов сушильного барабана:

1 — сушильный барабан; 2, 3 — циклон; 4 — вентилятор; 5 — орошаемый газоход; 6 — промывная башня; 7, 8 — оросительные скрубберы первой и второй ступени; 9 — брызгоуловитель; 10 — дымовая труба

стадиях сушки и охлаждения. Двойной гранулированный суперфосфат охлаждается в аппаратах с кипящим слоем (аппарат КС) или в аэроохладильниках. При этом происходит обильное выделение пыли в охлаждающий агент — воздух. Система очистки включает группу циклонов, рукавный фильтр и скруббер. Очищенный газ направляется в абсорбционное отделение для извлечения из него фтора. Концентрация пыли в газе перед абсорберами не должна превышать 0,05 г/м³.

Очистку газов осуществляют по двухступенчатой схеме. В качестве первой ступени очистки служат циклоны, а вторая ступень мокрая, в ней извлекаются фтористые газы и оставшаяся часть тонкодисперсной пыли (рис. 7.37).

Отсасываемый из сушильного барабана воздух очищается от пыли в группе циклонов. Для предотвращения конденсации влаги в циклонах и газоходах предусмотрен паровой обогрев. Очищенные от грубодисперсной пыли газы направляются в промывную башню, куда также могут подаваться газы от грохотов и элеваторов. Уловленная в циклонах пыль через питатели выгружается на конвейер и идет на переработку. В последнее время находят широкое применение высокоэффективные циклоны ВЦНИИОТа с обратным конусом внутренним диаметром 100—700 мм и производительностью 150—7000 м³/ч. После промывной башни газы поступают на двухступенчатую систему абсорбции для улавливания фторсодержащих газов.

В производстве двойного суперфосфата газопылевые выбросы образуются в смесителе и камере окончательного разложения (камерный способ), на

7.14. ОБЕСПЫЛИВАНИЕ ВОЗДУХА ПРИ ПРОИЗВОДСТВЕ КОРМОВЫХ ДРОЖЖЕЙ И БЕЛКОВО-ВИТАМИННЫХ КОНЦЕНТРАТОВ

Технологический цикл производства кормовых дрожжей завершается процессами сушки суспензии и улавливания полученного продукта. В большинстве случаев сушка осуществляется в распылительных сушилках. При этом 80—88 % высушенных дрожжей падает на дне сушильной камеры, откуда они непрерывно выгружаются, а 12—20 % уносятся с отработанным сушильным агентом в пылеулавливающие аппараты.

Концентрация дрожжей в газах, поступающих на очистку, составляет 2—5 г/м³, а температура газа 80—95 °С.

В системе пневмотранспорта от распылительной сушилки к циклоно-разгрузителю концентрация дрожжей составляет 200—300 г/м³. Кормовые дрожжи, высушенные в распылительной сушилке, обладают влажностью около 10 %, плотностью, равной 1280—1300 кг/м³, и относятся к огнеопасным материалам и к II-му классу взрывоопасных пылей. Нижний предел взрываемости кормовых дрожжей в зависимости от дисперсного состава и других факторов колеблется от 15 до 57 г/м³. Температура тления (самая низкая температура, при которой в результате разогрева возникает тление) лежит в пределах 195—200 °С и зависит от толщины слоя пыли. Так, при толщине слоя, равной 30 мм, она равна 195 °С, при 150 мм 145 °С. Температура самовоспламенения находится в пределах 430—460 °С. Теплота сгорания дрожжей 19,5 МДж/кг. Минимальная энергия воспламенения 20—30 мДж.

Газовые выбросы производства кормовых антибиотиков обладают неприятным гнилостным запахом разлагающихся микроорганизмов. В состав органической части газовых выбросов могут входить спирты, эфиры, фенолы, а также частички сырья и микроорганизмы.

Сушка кормовых дрожжей и кормовых антибиотиков осуществляется преимущественно в распылительных сушилках, а отделение сухого продукта от сушильного агента — в групповых циклонах (рис. 7.38).

Сушильный агент, состоящий из смеси дымовых газов и воздуха, при 300—400 °С под действием разрежения, создаваемого дымососом 15, поступает в верхнюю зону сушильной камеры 8; в эту же зону насосом подается дрожжевая суспензия. С помощью центробежного механизма 7 суспензия распыливается и высушивается в потоке горячих газов. Основная часть высушенного продукта поступает в коническую часть сушилки, а оттуда — в систему пневмотранспорта. Высокодис-

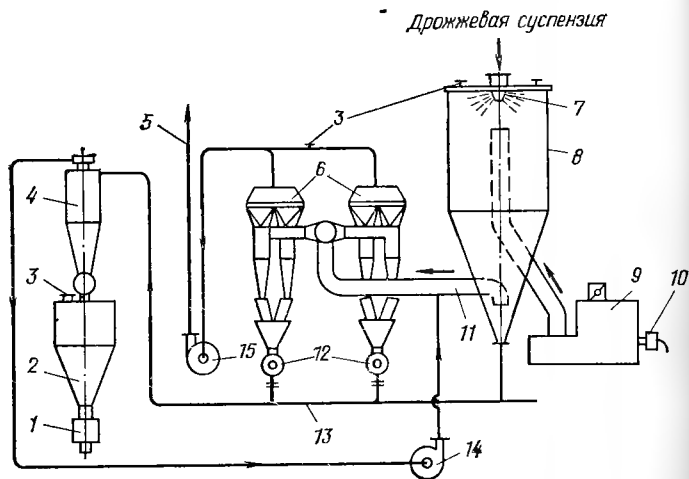


Рис. 7.38. Схема очистки газов дрожжевой сушильной установки с центробежной распылительной сушилкой СРЦ-3200:

1 — затвор; 2 — накопительный бункер для дрожжей; 3 — предохранительные клапаны; 4 — циклон системы пневмотранспорта; 5 — дымовая труба; 6 — групповые циклоны системы сепарации; 7 — распылительный механизм; 8 — сушильная камера; 9 — топочная камера; 10 — газоход для подачи газопылевой смеси к групповым циклонам; 11 — шиберные затворы; 12 — труба для подачи газопылевой смеси к групповым циклонам; 13 — труба для подачи газопылевой смеси к групповым циклонам; 14 — вентилятор системы пневмотранспорта; 15 — дымосос

персные частицы уносятся сушильным агентом и отделяются в групповых циклонах 6. Уловленный продукт также поступает в систему пневмотранспорта. Отделение продукта от воздушного потока в системе пневмотранспорта осуществляется в циклоне-разгрузителе 4, откуда продукт поступает в накопительный бункер упаковочного отделения 2. Очищенный от продукта воздух подается вентилятором 14 в групповой циклон, где осуществляется дополнительное улавливание мелких фракций продукта.

Если топливом служат мазут или лигнин, газы могут содержать примеси, отрицательно отражающиеся на качестве продукта, поэтому в некоторых случаях в качестве сушильного агента используют воздух, нагретый в стальном трубчатом воздухоподогревателе топочными газами, полученными от сжигания мазута или лигнина. Сепарационные устройства остаются без изменения.

На всех отечественных распылительных сушильных установках в качестве пылеулавливающих аппаратов используются групповые циклоны ЦН-15 или одиночные СК-ЦН-34. За рубежом для этих целей иногда используют рукавные фильтры с импульсной продувкой.

Для снижения взрывоопасности (взрывы особенно часто возникают в сборных бункерах) групповые циклоны выполняются с отдельными теками или заменяются на индивидуальные, каждый из которых имеет собственное пылевыгрузное устройство. Пылевые бункера, сушильная

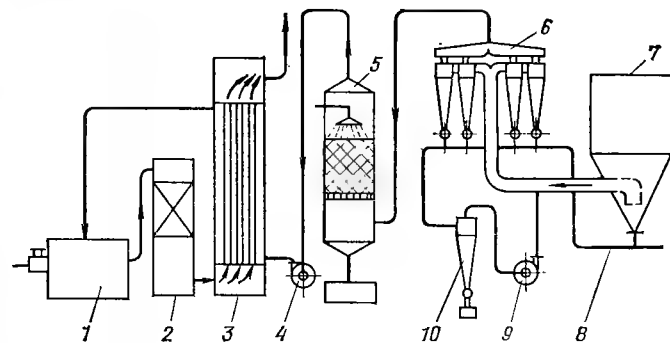


Рис. 7.39. Схема очистки газов в производстве бацитрацина:

1 — топочная камера; 2 — реактор каталитического дожигания; 3 — теплообменник; 4 — дымосос; 5 — скруббер с насадкой; 6 — циклон системы пневмотранспорта; 7 — распылительная сушилка; 8 — трубопровод системы пневмотранспорта; 9 — вентилятор системы пневмотранспорта; 10 — циклон-разгрузитель

камера и газоходы снабжаются предохранительными разрывными мембранами.

В связи с тем что кормовые антибиотики, в частности бацитрацин, имеют более высокую дисперсность и обладают неприятным запахом, очистка газов осуществляется по двух-, а иногда и трехступенчатой схеме. После очистки в циклонах газы поступают для доочистки в насадочный скруббер (насадка — кольца Рашига), а затем барботируют через слой воды или направляются на каталитическое дожигание органических веществ, как показано на рис. 7.39.

Дымовые газы дымососом 4 подаются в трубчатый теплообменник 3, где нагреваются на 120—140 °С за счет теплоты газов, поступающих из реактора 2. Из теплообменника газы поступают в печь-подогреватель 7, где, смешиваясь с топочными газами, подогреваются до 220—250 °С. При этой температуре они поступают в реактор, там в слое катализатора происходит окисление органических веществ до углекислого газа и воды. Очищенные газы, проходя теплообменник, выбрасываются через трубу в атмосферу.

Иногда ограничиваются очисткой газа от органических составляющих путем барботирования через слой воды. Этот метод не дает удовлетворительной очистки, вызывает загрязнение водной среды и не может быть рекомендован для широкого использования.

В установках с распылительными сушилками типа СРЦ-3200 сепарация дрожжей из отходящего сушильного агента осуществляется в двух групповых циклонах, состоящих из шести циклонных элементов типа ЦН-15 диаметром 800 мм. В целях обеспечения взрывобезопасно-

сти сборный бункер заменен течками, а выхлопные трубы циклонных элементов выполнены расширяющимися, что позволяет ликвидировать горизонтальные площадки, а следовательно, и отложения пыли в сборниках очищенного газа. Степень очистки в групповых циклонах составляет 92—95 %, унос продукта 0,07—0,24 г/м³ и гидравлическое сопротивление 7,8—11 ГПа.

Для снижения уноса пыли используются более эффективные циклоны СК-ЦН-34. В этом случае степень очистки составляет 97,5—99 %, гидравлическое сопротивление увеличивается до 19—20 ГПа.

В качестве циклонов-разгрузителей в установках с распылительной сушилкой СРЦ-3200 используются циклоны ЦН-15 диаметром 650 мм, концентрация пыли на входе в целом обычно составляет 240—500 г/м³, степень очистки 99—99,5 %, гидравлическое сопротивление 6—7,5 ГПа. Высокая степень очистки объясняется значительной концентрацией пыли.

Для обеспечения надежной работы системы очистки газов температура стенок циклонов не должна быть ниже 70 °С. Поэтому стенки циклонов, газодухов и пневмотранспорта покрывают теплоизоляцией из минеральной ваты или штучных изолирующих материалов [100].

7.15. ОЧИСТКА ГАЗОВ ОТ НЕПРИЯТНО ПАХНУЩИХ ВЕЩЕСТВ

Рост промышленности, энергетики, транспорта, сельскохозяйственного производства сопровождается значительным увеличением отходящих газов, содержащих примеси неприятно пахнущих веществ (НПВ). Источниками НПВ биологического происхождения может быть не только технологическое оборудование, но и любое открытое скопление органических продуктов, подвергающихся в естественных условиях анаэробному и аэробному разложению.

В связи с ростом требований к чистоте атмосферного воздуха все более актуальной становится задача очистки отходящих газов различных производств от НПВ или их дезодорации.

Неприятно пахнущие вещества условно разделяют на 10 классов: 1) органические соединения азота, выделяющиеся при разложении мяса или рыбы (триметиламин, скатол); 2) фенольные запахи (фенол, крезолы, ксиленолы, карвакрол); 3) органические соединения серы нефтепереработки (меркаптаны, сульфиды, дисульфиды); 4) запахи органических кислот (масляной, валериановой, фенилуксусной); 5) запахи дыма от сжигания топлива и асфальта; 6) парфюмерия; 7) запахи растворителей; 8) камфарообразные (нафталин, парадихлор, бензол); 9) маслянистые вещества; 10) ненасыщенные газы [143].

В зависимости от свойств НПВ, физико-химических параметров, концентрации их в газах и воздействия на человека и окружающую среду применяются различные методы дезодорации газов.

Термический и каталитический методы очистки основаны на процессах деструкции и окисления НПВ кислородом воздуха при повышенных температурах в газовой фазе или на поверхности специального катализатора. Методы адсорбции основаны на поглощении НПВ твердыми сорбентами, химическими реагентами или специальными составами при обычных температурах. Методы абсорбции базируются на промывке газов жидкими поглотителями (водой, водными растворами щелочей и химических окислителей). Метод биологической очистки основан на улавливании и ассимиляции НПВ влажной массой или водной суспензией, содержащей микроорганизмы. Газофазная обработка включает облучение газов ультрафиолетовыми лучами, введение в газ

озона или специальных веществ, способных отражать, маскировать, блокировать восприятие неприятного запаха НПВ.

Выбор метода определяется видом НПВ, технико-экономическими показателями метода для рассматриваемого источника, конкретными условиями производства. Эффективность удаления НПВ достигает 100 % при каталитическом окислении, 78 % при термическом разложении, 66 % при промывании, 49 % при нейтрализации. Методы термического и каталитического дожигания являются энергоемкими и их применение целесообразно для очистки небольшого объема газов. Адсорбционные методы предназначены главным образом для улавливания НПВ со значительным молекулярным весом. Методы абсорбции и биологической очистки пригодны для очистки газов от НПВ, хорошо и заметно растворяющихся в воде. Газофазная обработка и в особенности маскировка запаха применимы при малом содержании НПВ в отходящих газах и для дезодорации неорганизованных источников выделения НПВ в атмосферу.

Термическое и термокаталитическое обезвреживание неприятно пахнущих веществ. Сущность огневого (термического) обезвреживания газов, содержащих неприятно пахнущие или вредные органические вещества, заключается в разложении ингредиентов до CO₂ и H₂O. Принципиальная схема установки представлена на рис. 7.40. Необходимыми условиями удовлетворительной очистки газов термическим способом являются достаточное содержание окислителя (кислорода воздуха), хорошее перемешивание его с загрязненными газами, достаточное время пребывания газовой смеси в высокотемпературной зоне (600—1000 °С), которое не должно быть менее 0,5 с.

Несоблюдение этих условий может привести к частичному сгоранию пахучих соединений, образованию альдегидов и органических кислот, имеющих намного худший запах, чем у исходных соединений. Например, при окислении слабопахнущего бутилового спирта сначала до масляного альдегида, а затем до масляной кислоты происходит заметное усиление запаха.

Воздух с птицефабрик рекомендуется обезвреживать при температуре выше 760 °С и времени пребывания более 0,5 с. Для обезвреживания газов обработки отходов целесообразно применять термическую установку с рекуператором тепла, в котором осуществляется нагрев пахучих газов от 26 до 538 °С.

Термическое обезвреживание рекомендуется также для удаления НПВ при производстве антибиотиков. Установка термического обезвреживания производительностью около 1,5 тыс. м³/ч используется для очистки парогазовых выбросов цеха технических фабрикотов мясокомбинатов. Эффективность очистки составляет 96—98 % [143]. Для этих же целей используется топка объемом 1,7 м³ с дожигательной стенкой и с двумя горелками типа ГИП-60; расход газа составляет 100—120 м³/ч, коэффициент избытка воздуха $\alpha = 1,5 \div 1,7$, температура сжигания 900—980 °С.

Термическое обезвреживание без утилизации тепла обычно применяется для сжигания незначительного количества неприятно пахнущих

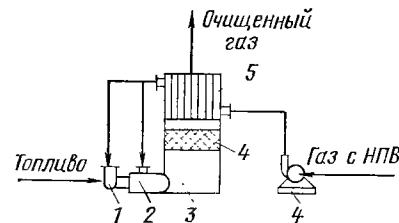


Рис. 7.40. Принципиальная схема термического и термокаталитического обезвреживания газов с НПВ:

1 — горелка; 2 — форкамера; 3 — печь; 4 — катализатор; 5 — теплообменник

газов. Как правило, наиболее целесообразно использовать газообразное топливо. Это дает возможность менять режим работы установки, получать более высокую чистоту сгорания.

Термический метод позволяет одновременно уничтожать запахи, твердые частицы, а также другие примеси, которые нельзя очистить в промывателе или путем химической нейтрализации. Недостатком термического обезвреживания отходящих газов является образование оксидов азота из O_2 и N_2 в процессах горения топлива.

Себестоимость очистки 1000 м^3 загрязненных газов достаточно велика — порядка 0,9 руб. и более. В случаях, когда это возможно, экономичнее проводить очистку газов от НПВ в топках котлоагрегатов; себестоимость очистки 1000 м^3 газа в этом случае составляет примерно 0,2—0,5 руб.

Принципиальная схема термокаталитического метода очистки отличается от схемы огневого обезвреживания наличием катализатора между печью и теплообменником, который при небольших объемах газов (менее $5000 \text{ м}^3/\text{ч}$) в обоих случаях может отсутствовать. Теплообменник может монтироваться в едином агрегате (встроенный вариант) и отдельно. При этом можно использовать катализаторы различных типов. С помощью платиносодержащего катализатора эффективность удаления НПВ при температуре 150°C может достигать 99 %. Медно-марганцевый катализатор рекомендован для очистки газовых выбросов производства антибиотиков для удаления запаха ацетальдегида, причем он легко регенерируется путем промывки водой.

В СССР установки термического и термокаталитического способов дезодорации получили широкое распространение. Конструкции печей термического сжигания и примеры их использования для очистки воздуха от фенола, акролеина, в производстве битума и др. рассмотрены в обзоре [143].

На Нальчикском мясоптицекомбинате пущена в эксплуатацию установка термической дезодорации с двухступенчатой рекуперацией тепла, разработанная Институтом газа АН УССР [100]. Установка характеризуется следующими показателями:

Производительность установки, $\text{м}^3/\text{ч}$. 800—1000
Расход природного газа, $\text{м}^3/1000 \text{ м}^3$
очищаемого воздуха 15—18

Температура, $^\circ\text{C}$:
в зоне сгорания 1000
на выходе из установки 230—300
Высота установки, м 2,78
Наружный диаметр топки, м 0,83
Масса без обмуровки, кг 980

Установка полностью автоматизирована и снабжена необходимыми средствами контроля, поддерживающими заданный режим работы.

7.16 ОЧИСТКА ГАЗОВ ПРИ СЖИГАНИИ ТВЕРДЫХ БЫТОВЫХ ОТХОДОВ

Мусоросжигание следует считать одним из наиболее перспективных методов обезвреживания бытовых отходов в современных городах. Этот способ по санитарно-гигиеническим требованиям позволяет располагать мусоросжигательные заводы вблизи селитебной зоны, что существенно сокращает расходы на вывоз отходов из черты города. Мусоросжига-

тельные заводы представляют высокомеханизированные промышленные предприятия, что позволяет иметь на них минимальное количество обслуживающего персонала, в основном не имеющего контакта с отходами и занятого управлением технологическим оборудованием. При сжигании отходов можно получать тепло, электроэнергию, а также металлы для вторичного использования. Технологическая схема мусоросжигания приведена на рис. 7.41. Одной из важных проблем при сжигании бытовых отходов является очистка отходящих дымовых газов котельных агрегатов, в которых эти отходы сжигаются.

Физико-химические свойства пылегазового потока при сжигании бытового мусора в большой степени зависят от таких свойств сжигае-

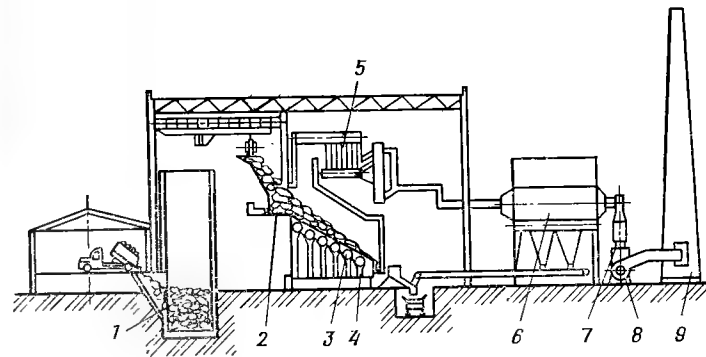


Рис. 7.41. Мусоросжигательный котлоагрегат:

1 — приемный бункер; 2 — питатель; 3 — колосниковая решетка; 4 — система шлакоудаления; 5 — парогенератор; 6 — электрофильтр; 7 — батарейный циклон; 8 — дымосос; 9 — дымовая труба

мых отходов, как морфологический и фракционный составы, теплотворная способность и др. Эти показатели существенно различаются в различных городах и даже в зависимости от времени года.

Влагосодержание дымовых газов котельных агрегатов подвержено резким колебаниям, что связано с изменением состава сжигаемых отходов. Данные, полученные на Московском спецзаводе № 1, показывают, что влагосодержание газов колеблется в пределах $97,9—125,0 \text{ г/м}^3$. С точки зрения режима работы электрогазоочистной установки эта величина является благоприятной для обеспечения нормального протекания процесса электрической фильтрации [74]. Величина влажности имеет тенденцию к увеличению, особенно в летнее время года, что определяется влагосодержанием сжигаемых бытовых отходов. В этом случае из-за увеличения адгезионных сил возможно залипание электродов электрофильтра.

Зола при сжигании бытовых отходов состоит в основном из двух компонентов: из минералов и несгоревших частиц органических веществ. В зависимости от их соотношения меняется и химический состав золы. Процентное содержание несгоревших веществ в значительной степени определяется конструктивными особенностями топочного устройства котельного агрегата. Обычно содержание несгоревших веществ не превышает 2 %, а при неблагоприятных условиях эта величина может достигать 15 %. Химический состав золы, отобранной из бункеров элек-

трофилтра, состоит из следующих компонентов, %: $\text{Fe}_2\text{O}_3 \sim 3$; $\text{CaO} \sim 8$; $\text{SiO}_2 \sim 17$; $\text{Al}_2\text{O}_3 \sim 14$.

Концентрация золы в дымовых газах мусоросжигательных установок составляет примерно $2-5 \text{ г/м}^3$ сухого газа или около 12 кг золы на 1 т мусора. Более высокая концентрация золы наблюдается в установках, сжигающих мусор с большим содержанием бумаги. Содержание в отходах различных твердых компонентов приводит к резкому снижению концентрации золы в отходящих дымовых газах (до $0,5 \text{ г/м}^3$).

Дисперсный состав твердых выбросов в дымовых газах зависит от состава мусора. Ниже приводятся данные о дисперсном составе золы, полученные при исследованиях на Московском спецзаводе № 1:

Размер частиц, мкм	20	50	>100
Содержание, %	20	25	55

Несмотря на относительно крупные размеры частиц золы, получаемой при сжигании бытовых отходов, для ее улавливания применяют электрофилтры, что диктуется следующими соображениями: необходимостью высокой степени очистки дымовых газов до остаточной запыленности не выше $50-100 \text{ мг/м}^3$; быстроизменяющимся режимом работы котельного агрегата в зависимости от состава сжигаемых отходов; необходимостью обеспечения условий коагуляции частиц сажи с целью предотвращения выброса их в атмосферу.

Системы сбора и транспорта золы. Специфические физико-химические свойства золы мусоросжигательных котлов выдвигают особые требования к системам накопления и транспорта уловленной золы. Накопленная в бункерах электрофилтров зола сильно изменяет свои свойства в зависимости от режима работы котла, времени пребывания ее в бункере. Свежеуловленная зола сохраняет свой электрический заряд и ведет себя почти как жидкость, а ее объемная масса составляет $95-130 \text{ кг/м}^3$ по сравнению с 1130 кг/м^3 и более для слежавшейся золы. Угол естественного откоса свежеуловленной золы в бункерах фактически равен нулю, а по мере ее остывания уже через $2-3 \text{ ч}$ он может достигать 90° .

Так как газовая фаза имеет относительно высокую температуру точки росы, то даже при кратковременных перерывах в работе систем транспорта и снижении температуры зола схватывается. Поэтому бункера теплоизолируют, а в некоторых случаях оборудуют их нижней часть специальными электронагревательными элементами.

Для удаления уловленной золы на мусоросжигательных заводах применяют пылевые затворы непрерывного действия, к которым относятся мигалки с конусным или плоским клапаном, двойные пылевые затворы с электроприводами, шлюзовые питатели, а также конвейеры. Мигалки с конусным клапаном устанавливаются в том случае, если разрежение в системе не превышает 1000 Па . При налаженной работе мигалки уловленная зола непрерывно и равномерно высыпается из аппарата. Конусные мигалки устанавливаются на вертикальных участках течек. При наклоне более 5° применяется мигалка с плоским откидным клапаном, подобранная с учетом разрежения до 2000 Па и наличия уплотняющего столба пыли высотой $0,8-1 \text{ м}$.

Широкое распространение на мусоросжигательных заводах получили шлюзовые питатели, устанавливаемые под бункерами циклонов и электрофилтров. Применяются винтовые конвейеры, имеющие сплошной винт без нескольких витков в конце его для создания в конвейере уплотняющей пробки золы.

Основные показатели работы электрогазоочистных установок на мусоросжигательных заводах. Московские спецзаводы № 1 и 2 введены

в эксплуатацию соответственно в 1972 и 1974 гг. Проектная мощность спецзавода № 1 500 тыс. м^3 отходов в год, из них около 150 тыс. м^3 перерабатывается в компост. Бытовые отходы, поступающие из восьми районов Москвы, перерабатываются на двух технологических линиях. Первая линия предназначена для сортировки мусора в компост, который используется в качестве удобрений. Вторая линия — для сжигания отходов в двух котлах и получения пара, который подается на соседний комбинат строительных материалов, а также используется для собственных нужд завода.

Для очистки дымовых газов, отходящих из двух котлов, принята одноступенчатая схема очистки, состоящая из сухого горизонтального двухпольного электрофилтра. За каждым котлом установлено по одному электрофилтру. Далее газы дымососом выбрасываются через дымовую трубу высотой 60 м .

Питание полей электрофилтра осуществляется от агрегата с однополупериодной схемой выпрямления напряжения. Для питания каждого электрофилтра установлен один агрегат, имеющий на силовом блоке два высоковольтных вывода. Регулирование рабочего напряжения электрофилтра осуществляется по числу искровых разрядов в активной зоне аппарата. Силовой блок установлен непосредственно на крышке электрофилтра. Управление электрическим режимом осуществляется с главного пульта завода, на который выведены контрольно-измерительные приборы. Встряхивание электродов электрофилтров осуществляется электромагнитными вибраторами. При нормальной эксплуатации электрогазоочистная установка обеспечивает удовлетворительную очистку дымовых газов от золы.

Спецзавод № 2 мощностью 350 тыс. м^3 в год предназначен только для сжигания отходов. При сжигании бытового мусора в двух котлах образующиеся дымовые газы, пройдя хвостовую поверхность котла и экономайзер, поступают на очистку в электрофилтр и дымососом через дымовую трубу высотой 60 м выбрасываются в атмосферу. Электрофилтр фирмы «Лурги» (ФРГ) (по одному на котел) — горизонтальный односекционный двухпольный аппарат. Встряхивание коронирующих и осадительных электродов — молотковое. Питание электрофилтра током высокого напряжения производится одним электроагрегатом с однополупериодным выпрямлением. Силовой блок агрегатов установлен на крышке электрофилтра, а щит управления и регулирования вынесен на центральный пульт завода.

ТАБЛИЦА 7.17
УСРЕДНЕННЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ ИСПЫТАНИЙ ЭФФЕКТИВНОСТИ РАБОТЫ
ЭЛЕКТРОГАЗООЧИСТНЫХ УСТАНОВОК НА СПЕЦЗАВОДАХ № 1 И 2

Параметры	Спецзавод № 1	Спецзавод № 2
Объем очищаемого газа, тыс. $\text{м}^3/\text{ч}$	≤ 40	≤ 36
Температура газа на входе в аппарат, $^\circ\text{C}$	180—225	212—288
Влагодержание газа, г/м^3	62—162	97—125
Скорость газа, м/с	0,63—0,94	0,52—0,68
Запыленность на входе в электрофилтр, г/м^3	0,80—1,00	0,24—0,68
Запыленность на выходе из электрофилтра, г/м^3	0,064—0,078	0,026—0,079

ТЕХНИКО-ЭКОНОМИЧЕСКИЕ ПОКАЗАТЕЛИ ГАЗООЧИСТНЫХ И ПЫЛЕУЛАВЛИВАЮЩИХ УСТАНОВОК

Вид производства	Схема газоочистки	Объем очищаемых газов (при нормальных условиях), тыс. м ³ /г	Содержание золы и пыли в газах, г/м ³		Капитальные затраты, тыс. руб.	Расход электроэнергии на очистку 1000 м ³ /год, кВт·ч	Удельные капитальные затраты на 1000 м ³ /год газа, руб.	Себестоимость очистки 1000 м ³ /год газа, коп.
			до очистки	после очистки				
1	2	3	4	5	6	7	8	9
Обеспыливание газов мартеновской печи (с садкой 435 т и подачей кислорода в ванну)	Электрофильтр УГ2-3-74	120	5	0,4	342	$\frac{1,42}{0,41}$	0,5	1,6
То же, с садкой печи 600 т	Электрофильтр УГ2-4-53	140	4	0,1	440	$\frac{1,57}{0,51}$	0,6	1,7
Обеспыливание газов вращающихся печей огнеупорного производства:								
при обжиге магнезита в печи размером 90×3,6 м	Циклоны ЦН-24+электрофильтр УГ2-3-74	84	20	0,15	178	$\frac{4,0}{1,20}$	0,27	0,5
то же, в печи размером 170×4,5 м	Циклоны ЦН-24+электрофильтр УГ2-3-74 (2 шт.)	159	21	0,18	215	$\frac{4,0}{1,20}$	0,27	0,3
при обжиге доломита в печи размером 90×3,6 м	Циклоны ЦН-24	128	17	0,15	187	$\frac{3,8}{1,1}$	0,3	0,9
Очистка дымовых газов электростанций с блоками 600 МВт	Электрофильтры УГ3	1918	13	0,07	2321	$\frac{5,32}{1,5}$	0,13	6
То же, с блоками 800 МВт	То же	3132	9	0,11	3390	$\frac{5,68}{1,6}$	0,14	4,6
То же, с котлами 35 т/ч	Электрофильтр УГ2-3-26	39	55	1,3	150	$\frac{3,55}{1,0}$	0,48	7,8
	Рукавные фильтры СМЦ	110	1,2	0,01	292	$\frac{4,62}{1,3}$	0,33	15
Очистка дымовых газов мусоросжигательной котельной	Циклон ЦН-15 — электрофильтр УГ1	18	10	0,25	172	$\frac{19,17}{5,4}$	1,09	31
Очистка газов от угольной пыли	Электрофильтры УВП	300	43	0,42	442	$\frac{2,91}{0,82}$	0,25	5,7
Очистка газов на гипсовых заводах	Электрофильтр УГ1-3-10	22	32	0,15	217	$\frac{26,55}{7,48}$	1,23	37
Очистка газов от катализаторной пыли	Электрофильтр ОГП-4-15	25	6	0,09	108	$\frac{7,46}{2,1}$	0,58	10,5
Очистка аспирационного воздуха литейных дворов, бункерных эстакад	Электрофильтры УГ3	1900	5	0,04	3269	$\frac{3,66}{1,03}$	0,20	4
	Батарейные циклоны-орошаемый газоход	1900	5	0,04	3645	$\frac{6,35}{1,79}$	0,22	6
Очистка газов доменных печей	Полый скруббер — Вентури — электрофильтр ДМ	260	7	0,01	660	$\frac{1,28}{0,36}$	0,32	15,7
Очистка газов конвертеров	Скруббер Вентури	360	37	0,10	64,2	$\frac{54,32}{15,3}$	0,022	22,4

Вид производства	Схема газоочистки	Объем очищаемых газов (при нормальных условиях), тыс. м³/г	Содержание золы и пыли в газах, г/м³		Капитальные затраты, тыс. руб.	Расход электроэнергии на очистку 1000 м³/год, кВт·ч	Удельные капитальные затраты на 1000 м³/год газа, руб.	Себестоимость очистки 1000 м³/год газа, коп.
			до очистки	после очистки				
1	2	3	4	5	6	7	8	9
Очистка газов мартеновских печей	Электрофильтры УГ2	290	9	0,10	77,55	$\frac{4,08}{1,15}$	0,33	7,2
Очистка газов электродуговых печей	Рукавные фильтры ФРО-20300	700	6	0,05	1132	$\frac{10,33}{2,91}$	0,21	16
	Рукавные фильтры ФРКДИ-1100	250	25	0,05	845	$\frac{17,32}{4,88}$	0,59	25,3
	Скруббер Вентури	102	7	0,10	93,6	$\frac{22,61}{6,37}$	0,115	11,4
Очистка газов от сажи и смолы при пиролизе метана	Полный скруббер — электрофильтр СПМ-8 — циклон-каплеуловитель	30	4	0,03	88,8	$\frac{4,0}{1,1}$	0,34	14
Очистка газов от вращающихся печей цементных заводов	Электрофильтры УГ2-4-74	700	30	0,15	777	$\frac{4,26}{1,2}$	0,28	3,0
	Электрофильтры УГ2-4-53	86	20	0,08	326	$\frac{7,1}{2,0}$	0,47	17

Очистка газов от цементных мельниц	Реконструкция электрофильтров ДГПН и фирмы Лурги по типу УГ	540	50	0,1	1469	$\frac{4,97}{1,4}$	0,34	17
	Циклон ЦН-15 — трехпольный электрофильтр	—	60	0,10		$\frac{8,59}{2,42}$	0,65	4,5
	Циклон ЦН-15 — электрофильтр УГ1-3-15	86	55	0,10	559	$\frac{8,98}{2,53}$	0,51	15
Очистка газов горно-обогатительного комбината	Электрофильтр УГ2-4-26	61	20	0,08	169	$\frac{10,54}{2,97}$	0,34	45
Очистка газов от сушильных барабанов фосфоритного рудника	Циклон ЦН-15 — сборка из циклонов ЦН-15 — электрофильтр УГ2-4-37	55	450	0,050	255	$\frac{8,17}{2,3}$	0,77	35
Очистка газов агломерационной фабрики (площадь спекания 312 м²)	Электрофильтры УГ3	985	4	0,06	1659	$\frac{6,5}{1,8}$	0,21	12
Очистка газов сернокислотного производства в печном отделении от огарковой пыли	Циклон — электрофильтры УГТ1-30-3	84	250	0,100	1443	$\frac{33,5}{9,3}$	2,06	57

Вид производства	Схема газоочистки	Объем очищаемых газов (при нормальных условиях), тыс. м³/г	Содержание золы и пыли в газах, г/м³		Капитальные затраты, тыс. руб.	Расход электроэнергии на очистку 1000 м³/год, кДж/кВт·ч	Удельные капитальные затраты на 1000 м³/год газа, руб.	Себестоимость очистки 1000 м³/год газа, коп.
			до очистки	после очистки				
1	2	3	4	5	6	7	8	9
Очистка газов контактного производства от тумана серной кислоты, мышьяка, селена	Электрофильтр ШМК-9,6	109	3—5	0,005	444,4	$\frac{6,5}{1,8}$	0,48	16
Очистка газов от тумана серной кислоты	Электрофильтр МБ-14А	129	0,5—1	0,050	279,0	$\frac{2,9}{0,8}$	0,26	8,6
Очистка газов от сажи при ее производстве	Трехпольные электрофильтры СГ и два последовательно установленных циклона СК-ЦН-34	20	80	0,72	280	$\frac{5,15}{1,45}$	1,75	12
	Шестипольный электрофильтр СГ	40	80	0,05	480	$\frac{5,01}{1,41}$	1,5	20
	Четыре последовательно расположенных циклона СК-ЦН-34 и рукавный фильтр ФР-5000 (с рукавами из стеклоткани)	36	80	0,10	460	$\frac{17,75}{5,0}$	1,5	40
	Рукавные фильтры ФРД-6500/8	36	63	0,01	546	$\frac{30,1}{8,37}$	1,90	85
Очистка коксового, генераторного и других газов от смолы, масел и пыли	Полый скруббер — электрофильтр С или ПГ	21	2—3	0,100	120	$\frac{1,76}{0,49}$	0,75	4,5
Очистка газов на асфальтобетонных заводах	Два последовательно расположенных циклона ЦН-15 — электрофильтр УГ	117	≥ 350	0,100	354	$\frac{9,35}{2,6}$	0,69	13
	Два последовательно расположенных циклона ЦН-15 — пенный аппарат	117	≥ 350	0,30	136	$\frac{4,1}{1,14}$	0,26	5
Очистка газов от свинца в типографском производстве	Мокрый аппарат ударно-инерционного действия	9,0	0,0003	—	4,0	$\frac{2,8}{0,78}$	0,06	7
Очистка газов обжигово-известковых печей	Полый скруббер — электрофильтры	67,0	1,0	0,010	400	$\frac{3,2}{0,9}$	0,7	43
Очистка газов от костной муки и неприятно пахнущих веществ (клеевой завод)	Два последовательно расположенных циклона — пенный аппарат	17,1	15	0,20	28,4	$\frac{3,6}{1,0}$	0,22	6

* Имеющиеся расхождения в капитальных затратах и себестоимости очистки в одинаковых аппаратах в различных установках связаны с различием объемов очищаемых газов и требуемой степени очистки, физико-химическими свойствами пылей, параметрами очищаемых газов.

ВРЕМЯ ОБСЛУЖИВАНИЯ УСЛОВНОЙ ЕДИНИЦЫ ОБОРУДОВАНИЯ
В СМЕНУ

На спецзаводе № 1 встряхивание электродов осуществляется вибрационным способом при помощи электромагнитных вибраторов фирмы «Синекс» (Франция). Отличительной особенностью этих вибраторов от обычных с воздушным зазором в сердечнике являются отсутствие воздушных зазоров и возможность регулирования частоты колебаний вибратора. Это позволяет получить небольшую амплитуду колебаний, не приводящих к усталостному износу несущих и вспомогательных конструктивных узлов. Это достигается за счет исключения работы системы в резонансном режиме. Вибраторы установлены на крышке электрофильтра, а их штоки жестко соединены с подвеской осадительных и коронирующих электродов.

На спецзаводе № 2 электрофильтр оборудован молотково-ударной системой регенерации электродов, которая не отличается от применяемых в отечественных унифицированных аппаратах типа УГ.

Применительно к мусоросжигательным заводам электрофильтры имеют определенные преимущества перед газоочистными аппаратами других типов. Они обеспечивают глубокую очистку газов (до 99 %), что особенно важно при нестабильном режиме работы котельного агрегата и относительно высокой температуре очищаемых газов, достигающей 400 °С. Электрогазоочистная установка — это полностью автоматизированная система, что способствует максимальному сокращению эксплуатационного персонала предприятия. Электрофильтры удачно вписываются в ячейку котельного агрегата, что позволяет строить в черте города компактные мусоросжигательные заводы. Поэтому в мировой практике почти все мусоросжигательные заводы оборудуются электрофильтрами.

Технико-экономические показатели газоочистных и пылеулавливающих установок в отраслях промышленности приведены в табл. 7.18. Расхождения в капитальных затратах и себестоимости очистки в одинаковых аппаратах в различных отраслях промышленности связаны с различием расхода очищаемого газа и требуемой степени очистки, а также различием физико-химических свойств пылегазовых потоков.

7.17. МЕТОДИКА ОПРЕДЕЛЕНИЯ ЧИСЛЕННОСТИ ЭКСПЛУАТАЦИОННОГО И РЕМОНТНОГО ПЕРСОНАЛА ГАЗООЧИСТНЫХ И ПЫЛЕУЛАВЛИВАЮЩИХ УСТАНОВОК

В основу предлагаемой методики положена Временная методика определения численности обслуживающего персонала промышленных газоочистных установок, разработанная институтом «Гипрогазоочистка» (Ленинград). Методика базируется на оценке сравнительной трудоемкости работ по обслуживанию газоочистного оборудования и прошла практическую проверку. Трудоемкость обслуживания определяется на аппарат в целом на условную единицу (секцию рукавного фильтра, поле электрофильтра, секцию батарейного циклона) [100].

В табл. 7.19 приведено суммарное время, необходимое для обслуживания условной единицы аппарата за одну 8-ч смену. Численность обслуживающего персонала рассчитывают путем определения суммарного времени, необходимого в течение одной смены для обслуживания всего оборудования, входящего в состав установки газоочистки. Время подсчитывают для каждой группы однотипных аппаратов, отдельно для посменного круглосуточного обслуживания (дежурное время) $t_{\text{деж}}$ и ре-

Аппарат	Время, чел.-ч/смену			Специальность	Разряд
	общее	дежурное	ремонтное		
Циклон одиночный	0,62	0,50	0,12	Рабочий	3/4
Циклон групповой (2,4, 6, 8 элементов)	0,70	0,55	0,15	»	3/4
Секция батарейного циклона	0,70	0,55	0,15	»	3/4
Полный скруббер	2,0	1,70	0,30	»	4/3
Скруббер с насадкой	1,0	0,80	0,2	»	4/3
Турбулентный промыватель, аппарат с подвижной насадкой, пенный промыватель	1,6	1,35	0,25	»	4/3
Мокрый электрофильтр (однополюсный)	1,1	0,85	0,25	Электрик Рабочий	4 3/4
Сухой электрофильтр (однополюсный)	1,7	0,90	0,80	Электрик Рабочий	4 3/4
Преобразовательная подстанция (агрегат питания электрофильтров)	0,75	0,70	0,05	Электрик	4—5/3
То же, электрофильтров фосфорных печей	1,00	0,95	0,05	»	4—5/3
Электрофильтр для очистки газов руднотермических фосфорных печей	1,8	1,0	0,8	» Рабочий	4 4—5/3
Рукавный фильтр (одна секция)	1,1	0,90	0,20	»	3/4
Дымосос	0,7	0,5	0,2	»	3/4
Шнек	0,7	0,6	0,1	»	3
Печи дожигания неприятно пахнущих газов:					
каталитические	2,6	2,2	0,4	»	5/3
высокотемпературные	2,6	2,2	0,4	»	4/5
Ректификационная колонна	2,70	2,3	0,4	»	3/4

Примечание. В числителе — разряд дежурного работника, в знаменателе — ремонтного.

монтных работ $t_{\text{рем}}$, производимых преимущественно в дневную смену. Для расчета определяют группу однотипного оборудования (в условных единицах) и по рис. 7.42 находят эксплуатационные K_1 и ремонтные K_2 понижающие коэффициенты: $K_1=f_1(n)$; $K_2=f_2(n)$. Это вызвано тем, что время обслуживания однотипного оборудования сокращается по сравнению с обслуживанием отдельных аппаратов.

Понижающий коэффициент K_3 для абсорберов и адсорберов любых типов определяют как функцию числа аппаратов n в установке:

n	1	2	3	4	5	6
K_3	1,00	0,96	0,90	0,81	0,71	0,63
n	7	8	9	10	11	12
K_3	0,56	0,50	0,44	0,40	0,36	0,34

Для всех прочих типов аппаратов (циклонов, батарейных циклонов, групповых циклонов, рукавных фильтров, электрофильтров, агрегатов питания, дымососов и т. д.) независимо от n принимают $K_3=0,34$.

Суммарное среднесуточное время обслуживания группы одиотипного оборудования определяют по формулам:

для дежурного персонала $T_{\text{деж}} = nK_1K_3t_{\text{деж}}$;
для ремонтного персонала $T_{\text{рем}} = nK_2K_3t_{\text{рем}}$.

Затем рассчитывают общее время для всех групп оборудования: $T_{\text{деж.общ}} = \Sigma T_{\text{деж}}$; $T_{\text{рем.общ}} = \Sigma T_{\text{рем}}$. Среднесуточное количество обслуживающего персонала определяют по формулам: $N_{\text{деж}} = \Sigma T_{\text{деж}}/l$; $N_{\text{рем}} = \Sigma T_{\text{рем}}/l$, где l — продолжительность смены, ч. Длительность рабочей недели в обычных условиях составляет 41 ч, в производствах с сокращенным рабочим днем 36 ч. Длительность недельного цикла работы оборудования 24·7=168 ч.

Полный персонал для трехсменной работы: $M_3 = N(168/41) = 4,1$ N; для четырехсменной: $M_4 = N(168/36) = 4,7$ N.

Инженерно-технический персонал назначается в зависимости от численности рабочих следующим образом. При $15 < M < 50$ предусматривается должность мастера; при $M > 50$ — старшего мастера или инженера и сменных мастеров; при $M < 15$ — бригадира из квалифицированных рабочих. В ряде случаев при большом числе оборудования газоочистки и значительной территориальной разбросанности целесообразна организация газоочистки со сменными диспетчерами, в подчинении которых находятся дежурные ремонтники.

Пример расчета численности обслуживающего персонала газоочистной установки

Установка включает следующее оборудование, шт.: 12 рукавных фильтров ФВК-90, 6 элементов; 2 рукавных фильтра ФР-10, 1 элемент; 2 электрофильтра ЖФП-7м двухпольных; 4 агрегата питания электрофильтров; 4 пенных аппарата ППП-ЛТИ; дымососы и вентиляторы: 3 шт. Д 18Х2; 4 шт. ВД 18; 44 шт. Ц 4-70, № 3—16; 4 шт. Ц 9-57, № 5, 6; 2 шт. ЦП 7-40, № 8; 20 шт. КЦ 4-84, № 12; 11 шт. БК-6. Режим работы установки — по 36-ч рабочей неделе.

ТАБЛИЦА 7.20

РАСЧЕТ ВРЕМЕНИ РАБОТЫ ОБСЛУЖИВАЮЩЕГО ПЕРСОНАЛА

Аппарат	Количество	$T_{\text{деж}} = nK_1K_3t_{\text{деж}}$	$T_{\text{рем}} = nK_2K_3t_{\text{рем}}$
Рукавные фильтры	74	$K_1=0,42$; $K_3=0,34$ $t_{\text{деж}}=0,9$ $T_{\text{деж}}=74 \cdot 0,42 \cdot 0,34 \cdot 0,9=9,51$	$K_2=0,565$; $K_3=0,34$; $t_{\text{рем}}=0,2$ $T_{\text{рем}}=74 \cdot 0,565 \cdot 0,34 \cdot 0,2=2,84$
Электрофильтры	4	$K_1=1,09$; $K_3=0,34$; $t_{\text{деж}}=1,0$ $T_{\text{деж}}=4 \cdot 1,09 \cdot 0,34 \cdot 1,0=1,48$	$K_2=0,798$; $K_3=0,34$; $t_{\text{рем}}=0,8$ $T_{\text{рем}}=4 \cdot 0,798 \cdot 0,34 \cdot 0,8=0,91$
Агрегаты питания электрофильтров	4	$K_1=1,09$; $K_3=0,34$; $t_{\text{деж}}=0,95$ $T_{\text{деж}}=4 \cdot 1,09 \cdot 0,34 \cdot 0,95=1,41$	$K_2=0,77$; $K_3=0,34$; $t_{\text{рем}}=0,05$ $T_{\text{рем}}=4 \cdot 0,77 \cdot 0,34 \cdot 0,05=0,053$
Пенные аппараты и скрубберы	4	$K_1=1,09$; $K_3=0,81$; $t_{\text{деж}}=1,35$ $T_{\text{деж}}=4 \cdot 1,09 \cdot 0,81 \cdot 1,35=4,77$	$K_2=0,798$; $K_3=0,81$; $t_{\text{рем}}=0,25$ $T_{\text{рем}}=4 \cdot 0,798 \cdot 0,81 \cdot 0,25=0,646$
Дымососы и вентиляторы	88	$K_1=0,38$; $K_3=0,34$; $t_{\text{деж}}=0,5$	$K_2=0,522$; $K_3=0,34$; $t_{\text{рем}}=0,2$
Суммарное среднесуточное время, чел.-ч/смена		$T_{\text{деж}}=88 \cdot 0,38 \cdot 0,34 \cdot 0,5=5,68$ $T_{\text{деж.общ}}=9,51+1,48+1,41+4,77+5,68=22,85$	$T_{\text{рем}}=88 \cdot 0,522 \cdot 0,34 \cdot 0,2=3,12$ $T_{\text{рем.общ}}=2,84+0,91+0,053+0,646+3,12=6,81$

ТАБЛИЦА 7.21
РАСЧЕТ ЧИСЛЕННОСТИ ОБСЛУЖИВАЮЩЕГО ПЕРСОНАЛА

Специальность	Разряд	Число рабочих в смену	Число смен в сутки	Число подменных рабочих	Общее число работающих
Электрик дежурный на подстанции	4	1	4	1	5
Аппаратчик на пенных аппаратах	4	1	4	1	5
Дежурный слесарь	4	1	4	1	5
Газоэлектросварщик	5	1	1	—	1
Электрослесарь	4,5	2	1	—	2
Слесарь-ремонтник	4	4	1	—	4
Разнорабочий	3	1	1	—	1
Мастер газоочистки	—	1	1	—	1
Итого	×	×	×	×	24

Результаты расчетов приведены в табл. 7.20. Для шестичасовой смены среднесменная численность персонала равна:

$$N_{\text{деж}} = \frac{T_{\text{деж.общ}}}{6} = \frac{22,85}{6} = 3,8 \text{ чел.};$$

$$N_{\text{рем}} = \frac{T_{\text{рем.общ}}}{6} = \frac{6,81}{6} = 1,13 \text{ чел.}$$

Полный персонал для четырехсменной работы составляет: $M_{\text{деж}} = 3,8 \cdot 4,7 = 18$ чел.; $M_{\text{рем}} = 1,13 \cdot 4,7 = 5$ чел. Ремонтный персонал работает в дневную смену. По трудоемкости обслуживания распределяют дежурный персонал следующим образом, чел.: дежурный электрослесарь на подстанции 1; дежурный слесарь по обслуживанию механизмов электрофильтров 1; дежурный аппаратчик по обслуживанию пенных аппаратов 1. Контроль за работой дымососов, вентиляторов и рукавных фильтров возлагается на дежурного слесаря, что позволяет высвободить дополнительно в дневную смену 3 чел. на ремонтные работы. В результате численность рабочих равна: 3 дежурных в 4 смены с подменными рабочими $3 \cdot 4,75 = 15$ чел.; дневной персонал 8 чел., в том числе электросварщик 1, электрослесарей 2, разнорабочий на вспомогательные работы, уборку помещения 1, слесарей-ремонтников 4; кроме того, выделяется мастер газоочистки (техник или электрослесарь 6-го разряда). Результаты расчетов сведены в табл. 7.21.

Глава 8 ФИЗИКО-ХИМИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА ПРОМЫШЛЕННЫХ ПЫЛЕЙ, ЗОЛЫ ЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ УГЛЕЙ И СЛАНЦЕВ

8.1. МЕТОДИКА ОПРЕДЕЛЕНИЯ СВОЙСТВ ПЫЛЕЙ И ЗОЛЫ

Вопросы выбора, расчета и проектирования пылеулавливающих установок решаются путем учета специфических физико-химических свойств пыли. Ниже приведены результаты исследований около 100 промышленных пылей металлургического, машиностроительного, химического производства, пищевой промышленности и др. [144, 145]. На базе этих материалов разработаны руководящие технические материалы [146].

Для определения физико-химических свойств пыли использовались пробы пыли, отобранные из пылегазового потока и бункеров-пылеуловителей. Пыль, отобранная в различных точках газохода методом внутренней или внешней фильтрации, смешивалась для получения усредненной пробы. Пыль из бункеров использовалась главным образом для исследований, требующих сравнительно большой массы в пробе (определение углов откоса, абразивности, насыпной плотности). В отдельных случаях проба из бункера использовалась для определения всего комплекса параметров. Пробы из бункера отбирались пробоотборником с соблюдением существующих правил отбора проб [147]. Пробы пыли из аппаратов, имеющих несколько бункеров (многопольные электрофильтры), отбирались из каждого бункера и смешивались в соотношении, пропорциональном эффективности пылеулавливания каждым полем. Для повышения представительности проба отбиралась в избыточном количестве, затем тщательно перемешивалась и сокращалась до нужного объема методом квартования [5].

Отобранные пробы упаковывались в герметичные сосуды и направлялись на исследование в лабораторию. В лаборатории перед проведением исследований пылевые пробы высушивались в сушильном шкафу при температуре 105°C (органические пыли при температуре не выше 60°C) до постоянной массы и хранились в эксикаторе с силикагелем. Значения физических параметров пыли, приведенные в паспорте, получены усреднением результатов нескольких параллельных анализов.

При отборе пылевых проб измерялись параметры пылегазовой среды. Температура, запыленность, скорость и влажность газа определялись методами, описанными в [23, 146]. Химический состав газа определялся газоанализаторами марок ГХ-1, ГХП-3М, ВТИ [147]. Температура точки росы по воде определялась психрометрическим или конденсационным методами [33, 146]. Для определения кислотной точки росы применялся прибор, разработанный Институтом обогащения твердого топлива [148].

Морфологическое описание препарата дано на основании исследования с помощью микроскопов МБИ-3, МБИ-6 в проходящем или отраженном свете при различной кратности увеличения по методикам,

описаниями в [5, 149]. Тонкодисперсные препараты исследовались с помощью электронного микроскопа.

Дисперсный состав приведен в виде таблицы с указанием доли $g, \%$ (по массе), частиц, имеющих размер более стоксовского диаметра d (мкм). Указывается также медианный размер частиц d_{50} (мкм). Для пылей с распределением частиц по размерам, подчиняющимся логарифмически нормальному закону, кроме медианного диаметра, приводится величина стандартного отклонения:

$$\sigma = d_{50}/d_{16} = d_{84}/d_{50},$$

где d_{16} и d_{84} — диаметры частиц, при которых масса всех частиц меньше d_{16} и d_{84} составляет соответственно 16 и 84 % общей массы пыли.

В производственных условиях дисперсный состав определялся, где это представлялось возможным, в газоходе перед системой пылеулавливания с помощью ротационного анализатора дисперсного состава пыли; в остальных случаях — в лабораторных условиях методом жидкостной седиментации или ротационным анализатором на лабораторном стенде [5, 150].

При исследовании грубодисперсных пылей применялся рассев на ситах. Просеивание производилось через набор сит модели 026 с помощью прибора для определения зернового состава (модель 029). В паспорте указаны метод и условия определения дисперсного состава пыли. В случае анализа методом жидкостной седиментации указана использованная дисперсионная среда.

Удельная поверхность, равная отношению поверхности частиц к их массе, определялась методом измерения воздухопроницаемости слоя при давлении, близком к атмосферному, на приборе Т-3 [151].

Плотность, т. е. масса единицы объема вещества, определялась циклометрическим методом. Метод заключается в измерении объема жидкости, вытесненной навеской пробы пыли. Величина плотности вычисляется как частное от деления массы пробы на вытесненный ею объем жидкости. При выборе жидкости, которая должна быть инертной по отношению к веществу пыли, использовался указатель дисперсионных жидкостей для различных материалов [5]. С целью удаления газовых включений над поверхностью жидкости создавался вакуум до 2—4 кПа.

Насыпная плотность представляет массу частиц, отнесенную к единице занятого ими объема, включая объем пор и промежутки между частицами. В справочнике приведены значения насыпной плотности пыли в неуплотненном состоянии и при максимальном уплотнении. Первое определялось взвешиванием известного объема свободно засыпанной пробы. Насыпная плотность при максимальном уплотнении определялась взвешиванием известного объема пробы в состоянии плотной упаковки частиц, достигаемой путем встряхивания сосуда с пробой с помощью виброуплотнителя до прекращения уменьшения объема.

Динамический и статический углы естественного откоса. Динамический угол естественного откоса представляет угол между горизонтальной плоскостью и образующей конуса, полученного при насыпании пробы пыли на плоскость. Определяется с помощью усовершенствованного прибора Меринга [152]. Величину динамического угла естественного откоса определяют по угломерным шкалам, нанесенным на боковые стенки, образующие прямой пространственный угол, в который засыпается исследуемая проба.

Статический угол или угол обрушения определялся с помощью прибора, представляющего стеклянный прямоугольный сосуд, одна из стенок которого съемная. После заполнения сосуда пылью съемная стенка осторожно удаляется, часть находящейся в сосуде пыли высыпает-

ся. У оставшейся в сосуде пыли, поверхность располагается под некоторым углом к горизонтальной плоскости, который и является статическим углом естественного откоса.

Разрывная прочность слоя характеризует слипаемость или аутогенную способность пыли. Определялась с помощью прибора конструкции НИИОгаза [153]. Основная часть прибора — разъемный цилиндр, в который засыпается исследуемая пыль. После уплотнения пыли стандартной нагрузкой 50 кПа к верхней части цилиндра прикладывают с помощью пружины постепенно нарастающее направленное вверх усилие, которое, достигнув определенной величины F_h , разрывает пылевой столбик в плоскости разреза. Величина разрывной прочности слоя P , 10^2 Па, рассчитывается по формуле

$$P = (F_h - Q_h)/S,$$

где Q_h — вес трубки с пылью, г; S — площадь поперечного сечения слоя пыли, $см^2$.

Промышленную пыль по слипаемости разделяют на четыре группы [154, 155]:

Группа слипаемости пыли	Разрывная прочность, Па
I неслипающаяся	<60
II слабослипающаяся	60—300
III среднеслипающаяся	300—600
IV сильнослипающаяся	>600

Абразивность пыли даи в виде коэффициента абразивности, определяемого по потере в весе образца, истираемого частицами, взвешенными в потоке воздуха. Для определения коэффициента абразивности применялся прибор конструкции КазНИИэнергетики [156, 157].

Исследуемая пыль пыленитателем подается в разгонное устройство, вращаемое электродвигателем. Во вращающейся трубке частицы разгоняются под действием центробежных сил, ударяются о поверхность стандартного образца и истирают ее. Взвешиванием образца до и после опыта определяют потерю массы образца, характеризующую его массовый износ. Коэффициент абразивности исследуемой пыли рассчитывается по формуле

$$K_a = \Delta G / B \Delta t,$$

где ΔG — потеря массы образца, кг; B — постоянная прибора, определяемая по эталонному образцу, для которого величина K_a известна.

Зная коэффициент абразивности пыли, можно рассчитать время абразивного износа элемента аппарата на заданную глубину τ , ч, по формуле

$$\tau = \frac{h q}{3600 E C W^3 K_a},$$

где h — линейный износ, м; C — концентрация абразива (по массе), $кг/м^3$; W — скорость газового потока, м/с; E — коэффициент вероятности попадания частиц на изнашиваемую поверхность, доли единицы; K_a — коэффициент абразивности исследуемой пыли по отношению к изнашиваемому материалу, $м^2/кг$; q — масса, кг.

Удельное электрическое сопротивление (УЭС) слоя пыли — омическое сопротивление куба пыли со стороной, равной 1 м, прохождению электрического тока.

В справочнике приводятся значения УЭС при различных температурах.

Q_n^p — низшая теплота сгорания топлива, МДж/кг; A_p — зольность топлива, %; W^p — влажность топлива, %; S^p — общее содержание серы в топливе, % (характеристики топлива даны в пересчете на рабочую массу); $S_{уд}$ — удельная поверхность частиц, см²/г; d — диаметр частиц пыли, мкм; g — содержание частиц диаметром более d , % (по массе); d_{50} — медианный диаметр, мкм; v — скорость витания частиц пыли в воздухе, см/с; σ — стандартное отклонение; γ_m — плотность материала частиц пыли, кг/м³; $\gamma_{ну}$ — насыпная плотность в неуплотненном состоянии, кг/м³; γ_y — насыпная плотность при максимальном уплотнении, кг/м³; $\alpha_{ст}$ — статический угол естественного откоса (угол обрушения), град; α_d — динамический угол естественного откоса, град; P — разрывная прочность пылевого слоя, Па; K_a — коэффициент абразивности (в пересчете на сталь Ст 3), м²/кг; рН — водородный показатель (кислотность) раствора; п.п.п. — потери при прокаливании; t — температура газа перед системой пылеулавливания, °C; z — запыленность газового потока, г/м³; t_p^s — температура точки росы при наличии диоксида серы, °C; t_p^s — температура точки росы при наличии триоксида серы; t_p — температура точки росы (по воде), °C; f — влажосодержание газа, г/м³ сухого газа; η — эффективность пылеулавливающего аппарата; УЭС — удельное электрическое сопротивление пыли, Ом·м.

8.2. ПЫЛИ МЕТАЛЛУРГИЧЕСКОГО ПРОИЗВОДСТВА

1. Пыль печи спекания бокситной шихты (производительность печи по спеку 6 т/ч; диаметр 2,5 м; длина 50 м) алюминиевого завода. Проба отобрана из газохода перед системой газоочистки.

Морфология частиц пыли. Частицы крупнее 10 мкм кристаллической формы со сглаженными гранями. Частицы мельче 5 мкм волокнистой и пластинчатой формы, светлых тонов ($d_{50}=8$ мкм; $\sigma=4,7$; $S_{уд}=17500$ см²/г).

Дисперсный состав (седиментация в изобутиловом спирте):

d , мкм	1,0	2,5	4,0	6,3	10	16	25	40
g , % (по массе)	90	78	68	57	43	32	20	12
v , см/с	0,007	0,045	0,11	0,21	0,72	1,83	4,5	10,3

Механические свойства пыли: $\gamma_m=2400$ кг/м³; $\gamma_{н-у}=800$ кг/м³; $\gamma_y=1080$ кг/м³; $\alpha_{ст}=63^\circ$; $\alpha_d=39^\circ$; $P=151$ Па.

УЭС слоя пыли при различных температурах:

УЭС, Ом·м	$6 \cdot 10^5$	$6,5 \cdot 10^5$	$7 \cdot 10^5$	$7 \cdot 10^6$	$2,1 \cdot 10^6$	$1,2 \cdot 10^6$
T , °C	20	50	100	150	200	250

Химический состав пыли (рН водной вытяжки 7,0):

Компоненты	п. п. п.	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	CaO
Содержание, % (по массе)	13,8	3,2	22,2	5,7	2,5
Компоненты		MgO	SO ₃	Na ₂ O	K ₂ O
Содержание, % (по массе)		0,7	0,7	24,0	2,2

Измерения проводились на измерительной ячейке, выполненной в виде двух соосных цилиндрических электродов, расстояние между которыми (2,5 мм) фиксируется с помощью изоляционной шайбы из фторопласта. На нижний электрод наносится слой пыли свободной засыпкой с последующим уплотнением (нагрузка 100 Па). Измерительная ячейка помещается в камеру, в которой регулируемым электрическим обогревом создается необходимая температура. На электроды подается напряжение U постоянного тока, гальванометром измеряется ток I в цепи.

УЭС пыли ρ , Ом·м, вычисляется по формуле

$$\rho = R \frac{S}{l} = \frac{U}{I} \cdot \frac{S}{l},$$

где S — площадь электрода, м²; l — расстояние между электродами, м.

Для золы, содержащей более 15 % недожога, приведено УЭС минеральной части, полученной прокаливанием золы при 550 °C.

Химический состав золы от сжигания углей, торфа и древесных отходов определяется по ГОСТ 10538—72. Состав золы высокосернистого мазута, включающей сажу, коксик и минеральную часть (сульфаты железа, кальция, алюминия, меди и низкоплавкие соединения ванадия), исследовался по специальной методике, основанной на анализе минералов и легированной стали [158, 159].

Гигроскопичность — способность пыли поглощать (адсорбировать) влагу из окружающей среды.

Для водонерастворимых веществ процесс адсорбции протекает до тех пор, пока давление над поверхностью частиц пыли не станет равным парциальному давлению паров воды в окружающем газе. В условиях равновесия каждому значению относительной влажности воздуха соответствует определенное содержание влаги в веществе (равновесная влажность вещества). Для определения равновесной влажности пыли определялись привесы высушенных образцов пыли, выдержанных до постоянной массы в атмосфере с заданной относительной влажностью. Равновесную влажность пыли φ_n , %, вычисляют по формуле

$$\varphi_n = \frac{(G_1 - G)}{G} 100,$$

где G_1 — масса пыли в бюксе при достижении равновесия, г; G — масса сухой пыли, г.

Смачиваемость пыли в процентах характеризует ее способность смачиваться водой. Определялась путем измерения доли смоченного и погружившегося на дно сосуда порошка, насыщенного тонким слоем на поверхность воды (метод пленочной флотации).

Для измерения величины смачиваемости применялся прибор, состоящий из вращающегося столика, на котором укреплялся сосуд с водой, и бункера с вибрационным питателем над ним. Медленное вращение столика с сосудом способствует равномерному распределению пыли, высыпаемой из вибрационного приспособления, по всей поверхности жидкости. Количество пыли, время ее просыпания и экспозиция во всех опытах одинаковы. Осевшую на дно сосуда в процессе опыта пыль отфильтровывают, высушивают и взвешивают.

Исходя из практических наблюдений, на основе метода пленочной флотации пыль по смачиваемости можно разделить на следующие группы, % [155]:

Плохо смачиваемая	0—30
Умеренно смачиваемая	30—80
Хорошо смачиваемая	80—100

Равновесная влажность пыли $\varphi_{\text{п}}$ при различной относительной влажности воздуха $\varphi_{\text{в}}$ (смачиваемость 100 %):

$\varphi_{\text{п}}, \%$	0,4	0,6	0,85	1,4	2,1	3,5
$\varphi_{\text{в}}, \%$	10	20	40	60	80	95

Характеристика газа-носителя: $t=300^{\circ}\text{C}$.

2. Пыль печи кальцинации алюминиевого завода. Проба отобрана из газохода перед системой газоочистки.

Морфология частиц пыли. Основная масса частиц имеет форму округленных зерен. Среди частиц мельче 5 мкм встречаются частицы пластинчатой формы; цвет пыли белый ($d_{50}=9,6$ мкм; $\sigma=2,06$; $S_{\text{уд}}=8560$ см²/г).

Дисперсный состав (седиментация в бензине):

$d, \text{мкм}$	2,5	4,0	6,3	10	16	25
$g, \%$ (по массе)	95	88	73	48	14	2,5
$v, \text{см/с}$	0,06	0,15	0,38	0,96	2,46	6,0

Механические свойства пыли: $\gamma_{\text{м}}=3220$ кг/м³; $\gamma_{\text{н-у}}=889$ кг/м³; $\gamma_{\text{г}}=1263$ кг/м³; $\alpha_{\text{ст}}=66^{\circ}$; $\alpha_{\text{д}}=49^{\circ}$; $P=403$ Па.

Химический состав пыли (рН водной вытяжки 8,0):

Компоненты	п. п. п.	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃
Содержание, % (по массе)	3,1	21,1	72,2	0,6
Компоненты	CaO	MgO	Na ₂ O	K ₂ O
Содержание, % (по массе)	0,7	0,1	0,8	0,2

Равновесная влажность пыли $\varphi_{\text{п}}$ при различной относительной влажности воздуха $\varphi_{\text{в}}$:

$\varphi_{\text{п}}, \%$	1,35	1,7	2,55	3,9	6,25	10,5
$\varphi_{\text{в}}, \%$	10	20	40	60	80	95

Характеристика газа-носителя: $t=200^{\circ}\text{C}$; $z=600$ г/м³; содержание в газе, % (объемн.): 9,0 CO₂; 1,0 O₂; следы CO; 90,0 N₂.

3. Пыль печей получения кремния на алюминиевом заводе. Проба отобрана из бункера рукавного фильтра ($\eta=99,3$ %).

Морфология частиц пыли. Частицы неправильной формы с оплавленными гранями. Среди частиц крупнее 1 мкм встречаются сферические и овальные; цвет пыли серый ($d_{50}=0,65$ мкм; $\sigma=2,6$; $S_{\text{уд}}=56000$ см²/г).

Дисперсный состав (седиментация в воде в центробежном поле):

$d, \text{мкм}$	0,25	0,40	0,63	1,0	1,6	2,5	4,0
$g, \%$ (по массе)	82	68	51	33	18	8,5	3,1
$v, \text{см/с}$	0,00045	0,0012	0,0028	0,0072	0,018	0,045	0,12

Механические свойства пыли: $\gamma_{\text{м}}=2400$ кг/м³; $\gamma_{\text{н-у}}=180$ кг/м³; $\gamma_{\text{г}}=320$ кг/м³; $\alpha_{\text{ст}}=72^{\circ}$; $\alpha_{\text{д}}=52^{\circ}$; $P=1230$ Па.

Химический состав пыли (рН водной вытяжки 6,0):

Компоненты	SiO ₂	R ₂ O ₃	CaO	MgO	SO ₃
Содержание, % (по массе)	95,2	1,0	1,2	0,6	0,5

Равновесная влажность пыли $\varphi_{\text{п}}$ при различной относительной влажности воздуха $\varphi_{\text{в}}$ (смачиваемость 97 %):

$\varphi_{\text{п}}, \%$	0,55	0,65	0,90	1,2	2,95	7,5
$\varphi_{\text{в}}, \%$	10	20	40	60	80	95

Характеристика газа-носителя: $t=120^{\circ}\text{C}$; $z=1,2 \div 3,8$ г/м³.

4. Пыль, выделяющаяся при выплавке меди в конвертере (производительность по сырью 80 т/сут) медеплавильного завода. Проба отобрана из бункера электрофильтра ($\eta=92,5$ %).

Морфология частиц пыли. Пыль мелкодисперсная, большинство частиц волокнистой и ветвистой формы, образующие лучистые агрегаты; цвет пыли белый ($d_{50}=1,5$ мкм; $\sigma=2,3$; $S_{\text{уд}}=45000$ см²/г).

Дисперсный состав (седиментация в центробежном поле, среда — ацетон):

$d, \text{мкм}$	0,4	0,63	1,0	1,6	2,5	4,0
$g, \%$ (по массе)	92	87	69	47	22	8,0
$v, \text{см/с}$	0,002	0,005	0,012	0,032	0,078	0,2

Механические свойства пыли: $\gamma_{\text{м}}=4200$ кг/м³; $\gamma_{\text{н-у}}=275$ кг/м³; $\gamma_{\text{г}}=328$ кг/м³; $\alpha_{\text{ст}}=61^{\circ}$; $\alpha_{\text{д}}=47^{\circ}$; $P=400$ Па.

Химический состав пыли:

Компоненты	PbO ₂	ZnO	CuO	CaO	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	MgO	SO ₃
Содержание, % (по массе)	24,2	24,4	0,3	3,3	0,1	0,2	1,0	27,8

Равновесная влажность пыли $\varphi_{\text{п}}$ при различной относительной влажности воздуха $\varphi_{\text{в}}$ (смачиваемость 100 %):

$\varphi_{\text{п}}, \%$	0,4	0,5	1,7	5,7	14	24
$\varphi_{\text{в}}, \%$	10	20	40	60	80	95

Характеристика газа-носителя: $t=275^{\circ}\text{C}$; $z=61$ г/м³; $t_{\text{с}}^{\text{р}}=156^{\circ}\text{C}$; $f=35$ г/м³; содержание в газе, % (объемн.) 3,5 SO₂; 16,5 O₂; 1,1 CO₂.

5. Пыль обжига ртутьсодержащей руды Белокаменского карьера во вращающейся трубчатой печи (производительность по руде 3 т/ч) при пирометаллургическом способе получения ртути на ртутном заводе. Проба отобрана из бункеров группы циклонов.

Морфология частиц пыли. Частицы размером до 10 мкм неправильной формы, более мелкие — иглообразной и чешуйчатой формы. Большинство частиц в проходящем свете светлых тонов, с включением частиц желтовато-зеленого и бурого цветов. В общей массе цвет пыли светло-серый ($d_{50}=23$ мкм; $S_{\text{уд}}=4600$ см²/г).

Дисперсный состав (ротационная сепарация в лабораторных условиях):

$d, \text{мкм}$	2,5	4,0	6,3	10	16	25	40
$g, \%$ (по массе)	96,5	93	88	79	65	45,5	18
$v, \text{см/с}$	0,05	0,12	0,29	0,74	1,9	4,6	11,9

Механические свойства пыли: $\gamma_{\text{м}}=2470$ кг/м³; $\gamma_{\text{н-у}}=820$ кг/м³; $\gamma_{\text{г}}=1088$ кг/м³; $\alpha_{\text{ст}}=60^{\circ}$; $\alpha_{\text{д}}=40^{\circ}$; $P=246$ Па; $K_{\text{а}}=0,61 \cdot 10^{-11}$ м²/кг.

Химический состав пыли (рН водной вытяжки 8,8):

Компоненты	п. п. п.	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	CaO	SO ₃	Hg
Содержание, % (по массе)	3,2	76,3	10,5	2,3	5,5	1,2	0,021

Равновесная влажность пыли $\varphi_{\text{п}}$ при различной относительной влажности воздуха $\varphi_{\text{в}}$ (смачиваемость 75 %):

$\varphi_{\text{п}}, \%$	0,04	0,12	0,33	0,8	5,27	25,2
$\varphi_{\text{в}}, \%$	10	20	40	60	80	95

Характеристика газа-носителя: $t=380\div 435^{\circ}\text{C}$, $z=105\text{ г/м}^3$; содержание в газе, % (объемн.): $8,0\text{ CO}_2$; $5,1\text{ O}_2$.

6. Пыль обжига ртутьсодержащей руды Сахалинского месторождения во вращающейся трубчатой печи при пирометаллургическом способе получения ртути на ртутном заводе. Проба отобрана из бункера рукавного фильтра типа ФРОС-60 ($\eta=99,8\%$).

Морфология частиц пыли. Частицы пористые неправильной формы с оплавленными гранями, с включением мелких иглообразных и пластинчатых частиц. Большинство частиц в проходящем свете от бесцветных до серовато-голубых; $15\text{--}20\%$ частиц мельче 20 мкм желтой и красно-бурой окраски. В общей массе цвет пыли серый ($d_{50}=19\text{ мкм}$; $S_{уд}=6600\text{ см}^2/\text{г}$).

Дисперсный состав (ротационная сепарация в лабораторных условиях):

d , мкм	2,2	4,0	6,3	10	16	26	40
g , % (по массе)	98	96	92	85	70	46	16
v , см/с	0,045	0,115	0,29	0,72	1,84	4,49	11,5

Механические свойства пыли: $\gamma_m=2400\text{ кг/м}^3$; $\gamma_{н-у}=630\text{ кг/м}^3$; $\gamma_y=1040\text{ кг/м}^3$; $\alpha_{ст}=62^{\circ}$; $\alpha_d=58^{\circ}$; $P=287\text{ Па}$; $K_a=1,0\cdot 10^{-11}\text{ м}^2/\text{кг}$.

Химический состав пыли (рН водной вытяжки 8,0):

Компоненты	п. п. п.	SiO_2	Al_2O_3	Fe_2O_3	CaO	Hg	SO_3
Содержание, %							
(по массе)	2,1	78,1	10,7	4,7	2,2	0,028	0,7

Равновесная влажность пыли Φ_n при различной относительной влажности воздуха Φ_v (смачиваемость 81%):

Φ_n , %	0,07	0,11	0,19	0,28	0,38	1,13
Φ_v , %	10	20	40	60	80	95

Характеристика газа-носителя: $t=390\div 430^{\circ}\text{C}$; $z=80\div 120\text{ г/м}^3$; содержание в газе, % (объемн.): $7,3\text{ CO}_2$; $5,4\text{ O}_2$.

7. Пыль, выделяющаяся при разложении сурьмяной руды в руднотермической печи (производительность по руде 5 т/ч) на сурьмяном комбинате. Проба отобрана из бункеров аппаратов системы газоочистки ($\eta=99\%$).

Морфология частиц пыли. Частицы пыли неправильной формы со сглаженными гранями. В проходящем свете частицы бесцветные, серые и бледно-голубые. В общей массе цвет пыли светло-серый ($d_{50}=14,5\text{ мкм}$; $\sigma=4,8$; $S_{уд}=9749\text{ см}^2/\text{г}$).

Дисперсный состав (ротационная сепарация в лабораторных условиях):

d , мкм	1,6	2,5	4,0	6,3	10	16	25
g , % (по массе)	89	85,6	79	70	59	48	33,5
v , см/с	0,03	0,083	0,21	0,52	1,31	3,35	8,2

Механические свойства пыли: $\gamma_m=4440\text{ кг/м}^3$; $\gamma_{н-у}=1100\text{ кг/м}^3$; $\gamma_y=2100\text{ кг/м}^3$; $\alpha_{ст}=58^{\circ}$; $\alpha_d=46^{\circ}$; $P=641\text{ Па}$; $K_a<1,0\cdot 10^{-12}\text{ м}^2/\text{кг}$.

Химический состав пыли (рН водной вытяжки 5,8):

Компоненты	п. п. п.	SiO_2	Al_2O_3	Fe_2O_3	CaO	K_2O	S
Содержание, %							
(по массе)	0,8	5,8	0,55	0,9	0,9	0,3	4,4

Равновесная влажность пыли Φ_n при различной относительной влажности воздуха Φ_v (смачиваемость $46,9\%$):

Φ_n , %	0,08	0,15	0,35	0,7	2,3	21,5
Φ_v , %	10	20	40	60	80	95

Характеристика газа-носителя: $t=240\div 265^{\circ}\text{C}$; $z=35\text{ г/м}^3$; содержание в газе, % (объемн.): $3,2\text{ CO}_2$; $12,4\text{ O}_2$; $0,6\text{ CO}$.

8. Пыль системы санитарной очистки плавильного цеха сурьмяного комбината (на очистку поступают газы после системы газоочистки руднотермической печи и газы аспирации при выгрузке штейна и металла из печи). Проба отобрана из бункера фильтра ($\eta=96,5\%$).

Морфология частиц пыли. Частицы крупнее 10 мкм неправильной формы с оплавленными гранями, более мелкие частицы пластинчатой и игольчатой формы. Поверхность частиц пористая. В проходящем свете основная масса частиц серого цвета, встречаются частицы бурого и черного цвета ($d_{50}=3,0\text{ мкм}$; $\sigma=3,0$; $S_{уд}=17080\text{ см}^2/\text{г}$).

Дисперсный состав (ротационная сепарация в лабораторных условиях):

d , мкм	1,0	1,6	2,5	4,0	6,3	10	16	25
g , % (по массе)	84	73	56	39	23	10	3,5	1,0
v , см/с	0,013	0,034	0,082	0,21	0,52	1,32	3,35	8,24

Механические свойства пыли: $\gamma_m=4400\text{ кг/м}^3$; $\gamma_{н-у}=820\text{ кг/м}^3$; $\gamma_y=1420\text{ кг/м}^3$; $\alpha_{ст}=53^{\circ}$; $\alpha_d=47^{\circ}$; $P=880\text{ Па}$.

Равновесная влажность пыли Φ_n при различной относительной влажности воздуха Φ_v (смачиваемость 68%):

Φ_n , %	0,1	0,5	1,1	2,1	15
Φ_v , %	20	40	60	80	95

Характеристика газа-носителя: $t=60^{\circ}\text{C}$; $z=1\text{ г/м}^3$; $f=46\div 64\text{ г/м}^3$; содержание в газе, % (объемн.): $0,8\text{ CO}_2$; $19,0\text{ O}_2$; $0,1\text{ CO}$.

9. Пыль литейного двора металлургического завода. Проба — смёты с металлоконструкций литейного двора.

Морфология частиц пыли. Большая часть частиц крупнее 10 мкм имеет форму листочков, а частицы мельче 10 мкм — форму зерен. Крупные частицы в отраженном свете блестящие серые, частицы менее 15 мкм коричневого цвета. В общей массе цвет пыли черный ($d_{50}=30\text{ мкм}$; $\sigma=1,76$; $S_{уд}=3350\text{ см}^2/\text{г}$).

Дисперсный состав (ротационная сепарация в лабораторных условиях):

d , мкм	6,3	10	16	25	40
g , % (по массе)	99	96,5	86	60	30
v , см/с	0,32	0,81	2,08	5,07	12,0

Механические свойства пыли: $\gamma_m=2710\text{ кг/м}^3$; $\gamma_{н-у}=471\text{ кг/м}^3$; $\gamma_y=585\text{ кг/м}^3$; $\alpha_{ст}=49^{\circ}$; $\alpha_d=39^{\circ}$; $P=122\text{ Па}$; $K_a<0,5\cdot 10^{-12}\text{ м}^2/\text{кг}$.

Химический состав пыли (рН водной вытяжки 7,6):

Компоненты	п. п. п.	SiO_2	Fe_2O_3	FeO
Содержание, % (по массе)	21,7	4,1	47,3	20,1

Компоненты	CaO	Al_2O_3	S	MgO	MnO
Содержание, % (по массе)	3,8	0,33	0,15	0,2	0,2

Равновесная влажность пыли $\varphi_{\text{п}}$ при различной относительной влажности воздуха $\varphi_{\text{в}}$ (смачиваемость 2,0 %):

$\varphi_{\text{п}}$, %	0,027	0,031	0,038	0,044	0,051	0,068
$\varphi_{\text{в}}$, %	10	20	40	60	80	95

10. Пыль агломашины К-1-75 (высота слоя шихты 250 мм, температура горна 1200°C; состав шихты, %: руда 70, известняк 12, окала на 8, шлак 4, кокс 6) аглофабрики металлургического завода. Проба отобрана из газохода перед батарейным циклоном и из бункера циклона.

Морфология частиц пыли. Частицы неправильной формы с острыми гранями. Большинство частиц от коричневого до черного цвета. Среди мелких частиц встречаются светлые частицы иглообразной формы. В общей массе цвет пыли черилый ($d_{50}=45$ мкм; $\sigma=3,91$).

Дисперсный состав (ротационная сепарация в промышленных условиях):

d , мкм	4	6,3	10	16	25	40	63
g , % (по массе)	95,9	93	87	78,5	67,5	53,5	40
v , см/с	0,19	0,47	1,2	3,06	7,48	18	39

Механические свойства пыли: $\gamma_{\text{м}}=4000$ кг/м³; $\gamma_{\text{н.у}}=2150$ кг/м³; $\gamma_{\text{у}}=2480$ кг/м³; $\alpha_{\text{ст}}=55^\circ$; $\alpha_{\text{д}}=39^\circ$; $P=78$ Па; $K_{\text{а}}=8,8 \cdot 10^{-11}$ м²/кг.

Химический состав пыли (рН водной вытяжки 8,0):

Компоненты	п. п. п.	FeO	Fe ₂ O ₃	Al ₂ O ₃	CaO	MgO	SiO ₂	S
Содержание, % (по массе)	3,2	18,9	56,8	1,6	6,3	2,95	6,5	0,2

Равновесная влажность пыли $\varphi_{\text{п}}$ при различной относительной влажности воздуха $\varphi_{\text{в}}$ (смачиваемость 36 %):

$\varphi_{\text{п}}$, %	0,07	0,08	0,09	0,10	0,36	0,94
$\varphi_{\text{в}}$, %	10	20	40	60	80	95

Характеристика газа-носителя: $t=96^\circ\text{C}$; $z=8,35$ г/м³; $f=60$ г/м³; содержание в газе, % (объемн.): 4,3 CO; 16,5 O₂; 0,65 CO; 0,35 H; 0,15 CH₄; 78,0 N₂; 0,00245 SO₂.

11. Пыль участка сортировки агломерата аглофабрики металлургического завода. Проба отобрана из газохода перед системой газоочистки.

Морфология частиц пыли. Частицы неправильной формы с развитой поверхностью. Частицы менее 2 мкм светлые, пластинчатые. В проходящем свете частицы в основном темные, непрозрачные, встречаются с металлическим блеском. В общей массе цвет пыли черный ($d_{50}=20$ мкм; $\sigma=3,4$; $S_{\text{уд}}=1800$ см²/г).

Дисперсный состав (седиментация в керосине):

d , мкм	2,5	4	6,3	10	16	25	40
g , % (по массе)	95,9	92,2	86	75	58	40	20
v , см/с	0,07	0,19	0,46	1,13	2,97	7	18

Механические свойства пыли: $\gamma_{\text{м}}=4000$ кг/м³; $\gamma_{\text{н.у}}=1390$ кг/м³; $\gamma_{\text{у}}=1590$ кг/м³; $\alpha_{\text{ст}}=58^\circ$; $\alpha_{\text{д}}=40^\circ$; $P=258$ Па; $K_{\text{а}}=7,64 \cdot 10^{-11}$ м²/кг.

Химический состав пыли (рН водной вытяжки 10,0):

Компоненты	п. п. п.	SiO ₂	Fe ₂ O ₃	FeO	Al ₂ O ₃	CaO	MgO	Na ₂ O+K ₂ O
Содержание, % (по массе)	5,5	14,6	56,8	10,1	1,6	8,6	4	0,3

Равновесная влажность пыли $\varphi_{\text{п}}$ при различной относительной влажности воздуха $\varphi_{\text{в}}$ (смачиваемость 99 %):

$\varphi_{\text{п}}$, %	0,66	0,08	0,10	0,15	0,30	0,80
$\varphi_{\text{в}}$, %	10	20	40	60	80	95

Характеристика газа-носителя: $t=60^\circ\text{C}$; $z=29,5$ г/м³; $f=22,1$ г/м³; состав: 100 % воздуха.

12. Пыль участка подготовки сырья (шихтоподача) доменного цеха металлургического завода. Проба — смёты с металлоконструкций обмурования.

Морфология частиц пыли. Частицы неправильной формы с острыми гранями. В проходящем свете большинство частиц коричневого цвета различных оттенков, встречаются иглообразные и пластинчатые частицы серого цвета. В общей массе цвет пыли темно-коричневый ($d_{50}=15,5$ мкм; $\sigma=5,5$; $S_{\text{уд}}=4640$ см²/г).

Дисперсный состав (седиментация в керосине):

d , мкм	1,6	2,5	4,0	6,3	10	16	25	40
g , % (по массе)	90,5	85	78	70	61	49,5	39	26
v , см/с	0,026	0,063	0,16	0,4	1,0	2,64	6,3	16

Механические свойства пыли: $\gamma_{\text{м}}=3350$ кг/м³; $\gamma_{\text{н.у}}=1060$ кг/м³; $\gamma_{\text{у}}=1457$ кг/м³; $\alpha_{\text{ст}}=63^\circ$; $\alpha_{\text{д}}=56^\circ$; $P=287$ Па; $K_{\text{а}}=2,34 \cdot 10^{-11}$ м²/кг.

УЭС слоя пыли при различных температурах:

УЭС, Ом·м	$1,9 \cdot 10^6$	$1 \cdot 10^6$	$2,5 \cdot 10^6$	$3,8 \cdot 10^8$	$0,5 \cdot 10^9$
T , °C	20	50	100	150	200

Химический состав пыли (рН водной вытяжки 8,1):

Компоненты	п. п. п.	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	CaO	MgO	MnO ₂	S	P ₂ O ₅
Содержание, % (по массе)	20,8	1,2	1,35	59,7	10,0	3,4	0,37	1,62	0,4

Равновесная влажность пыли $\varphi_{\text{п}}$ при различной относительной влажности воздуха $\varphi_{\text{в}}$ (смачиваемость 83 %):

$\varphi_{\text{п}}$, %	0,1	0,15	0,29	0,45	0,66	1,44
$\varphi_{\text{в}}$, %	10	20	40	60	80	95

13. Пыль доменной печи металлургического завода. Проба отобрана из бункера рукавного фильтра ($\eta=96,2$ %).

Морфология частиц пыли. Оплавленные частицы неправильной формы с развитой поверхностью. Большинство частиц в проходящем свете темных оттенков с блеском. Мелкие частицы размером до 3 мкм коричневого цвета с включением светлых частиц игольчатой и чешуйчатой формы. В общей массе цвет пыли черный ($d_{50}=12$ мкм; $\sigma=3,42$; $S_{\text{уд}}=5280$ см²/г).

Дисперсный состав (ротационная сепарация в лаборатории):

d , мкм	2,5	4,0	6,3	10	16	25	40
g , % (по массе)	90	83	73	60	40	19	5
v , см/с	0,06	0,15	0,37	0,94	2,4	6	15

Механические свойства пыли: $\gamma_{\text{м}}=3110$ кг/м³; $\gamma_{\text{н.у}}=860$ кг/м³; $\gamma_{\text{у}}=1040$ кг/м³; $\alpha_{\text{ст}}=58^\circ$; $\alpha_{\text{д}}=42,5^\circ$; $P=75$ Па; $K_{\text{а}}=2,46 \cdot 10^{-11}$ м²/кг.

Химический состав пыли (рН водной вытяжки 7,5):

Компоненты	п. п. п.	SiO ₂	Fe ₂ O ₃	Al ₂ O ₃	MnO	CaO	MgO	SO ₃
Содержание, %								
(по массе)	37,5	6,2	37,8	1,65	0,15	8,1	1,2	0,5

Равновесная влажность пыли φ_n при различной относительной влажности воздуха φ_v :

φ_n , %	0,1	0,2	0,5	1,2	2,9	7,2
φ_v , %	10	20	40	60	80	95

Характеристика газа-носителя: $t=255^\circ\text{C}$; $z=2,1$ г/м³; содержание в газе, % (объемн.): 22,3 CO; 18,8 CO₂; 8,0 H₂; 49,9 N₂.

14. Пыль мартеновской печи (вес садки 600 т, сырье: металлолом, руда, чугун, известь, известняк, доломит, магнезит, окись хрома, титан и др.). Проба отобрана из бункера электрофилтра типа ПГДС-4-70 ($\eta=96\%$).

Морфология частиц пыли. Частицы с развитой поверхностью, зернистой и пластинчатой формы с включением мелких волокнистых частиц. Окраска большинства частиц крупнее 10 мкм густо коричневая, почти непрозрачная. Более мелкие частицы в проходящем свете имеют окраску от желтовато-красной до коричневой. Пыль склонна к образованию прочных агрегатов размером до 200 мкм ($d_{50}=6,9$; $\sigma=2,6$; $S_{уд}=11200$ см²/г).

Дисперсный состав (седиментация в этиловом спирте):

d , мкм	1,0	1,6	2,5	4,0	6,3	10	16	25
g , % (по массе)	96	92	86	72	54	38	16	7
v , см/с	0,012	0,032	0,078	0,21	0,49	1,24	3,19	7,8

Механические свойства пыли: $\gamma_m=4160$ кг/м³; $\gamma_{н.у}=480$ кг/м³; $\gamma_y=840$ кг/м³; $\alpha_{ст}=66^\circ$; $\alpha_d=52^\circ$; $P=904$ Па; $K_a<0,5 \cdot 10^{-12}$ м²/кг.

Химический состав пыли (рН водной вытяжки 4,5):

Компоненты	SiO ₂	Fe ₂ O ₃	FeO	CaO	MgO	K ₂ O	MnO	P ₂ O ₅	S
Содержание, % (по массе)	0,3	57,9	22,3	1,59	1,04	3,32	0,52	0,18	4,07

Равновесная влажность пыли φ_n при различной относительной влажности воздуха φ_v (смачиваемость 100 %):

φ_n , %	0,1	0,3	0,8	1,8	4,4	16,7
φ_v , %	10	20	40	60	80	95

Характеристика газа-носителя: $t=620^\circ\text{C}$; $z=1,51$ г/м³; содержание в газе, % (объемн.): 12,0—14,0 O₂; 5,5—7,0 CO₂; до 0,0023 CO; 7,3 H₂O; остальное N₂.

15. Пыль, выделяющаяся при помоле известняка в шахтной мельнице на аглофабрике металлургического завода. Проба отобрана из бункера батарейного циклона ($\eta=90\%$).

Морфология частиц пыли. Крупные частицы зернистой формы, мелкие пластинчатой и волокнистой; грани частиц острые. В проходящем свете частицы бесцветные или светло-серые, встречаются желтовато-бурые частицы размером 10—30 мкм ($d_{50}=25$ мкм; $\sigma=2,0$; $S_{уд}=2350$ см²/г).

Дисперсный состав (ротационная сепарация в лабораторных условиях):

d , мкм	2,5	4	6,3	10	16	25	40
g , % (по массе)	98,5	97	93	86	72	50	20
v , см/с	0,05	0,13	0,32	0,81	2,08	5,07	13,0

Механические свойства пыли: $\gamma_m=2706$ кг/м³; $\gamma_{н.у}=924$ кг/м³; $\gamma_y=1208$ кг/м³; $\alpha_{ст}=67^\circ$; $\alpha_d=50^\circ$; $P=178$ Па; $K_a=0,66 \cdot 10^{-11}$ м²/кг.

УЭС слоя пыли при различных температурах:

УЭС, Ом·м	$6,4 \cdot 10^8$	$3,8 \cdot 10^8$	$4 \cdot 10^9$	$8,1 \cdot 10^9$	$1,2 \cdot 10^9$
T , °C	20	50	100	150	200

Химический состав пыли (рН водной вытяжки 7,2):

Компоненты	п.п.п	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	CaO	MgO	K ₂ O	Na ₂ O	SO ₃	
Содержание, % (по массе)		34,8	7,1	0,5	1,8	48,1	5,8	0,3	0,4	0,7

Равновесная влажность пыли φ_n при различной относительной влажности воздуха φ_v (смачиваемость 87,5 %):

φ_n , %	0,07	0,08	0,11	0,13	0,18	0,22
φ_v , %	10	20	40	60	80	95

Характеристика газа-носителя: $t=60^\circ\text{C}$; $z=100$ г/м³; содержание в газе, % (объемн.): 0,2 CO₂; 19—20 O₂; 5—6 H₂O; остальное N₂.

16. Пыль обжига известняка (Студеновского месторождения) в известково-обжиговой печи (производительность 5 т/ч) известково-доломитного цеха металлургического завода. Проба отобрана из газохода перед скруббером.

Морфология частиц пыли. Частицы оплавлены, неправильной и овальной формы с развитой поверхностью. В проходящем свете от бесцветных до светло-серых тонов с включением коричневатых частиц. В общей массе цвет пыли светло-серый ($d_{50}=29$ мкм; $S_{уд}=2400$ см²/г).

Дисперсный состав (ротационная сепарация в промышленных условиях):

d , мкм	4,0	6,3	10	16	25	40
g , % (по массе)	98,5	96,9	92,5	82	59	28
v , см/с	0,129	0,29	0,8	2,06	5,04	12

Механические свойства пыли: $\gamma_m=2700$ кг/м³; $\gamma_{н.у}=700$ кг/м³; $\gamma_y=880$ кг/м³; $\alpha_{ст}=60^\circ$; $\alpha_d=40^\circ$; $P=178$ Па; $K_a=4,8 \cdot 10^{-11}$ м²/кг.

УЭС слоя пыли при различных температурах:

УЭС, Ом·м	$1,8 \cdot 10^8$	$5,9 \cdot 10^8$	$6,7 \cdot 10^{10}$	$4 \cdot 10^{10}$	$9 \cdot 10^9$
T , °C	20	50	100	150	200

Химический состав пыли (рН водной вытяжки 10,0):

Компоненты	п.п.п.	CaO	MgO	Fe ₂ O ₃	Al ₂ O ₃	SiO ₂	SO ₃	Na ₂ O	K ₂ O
Содержание, % (по массе)	8,1	66,8	2,34	4,5	2,9	4,9	7	0,3	2,5

Равновесная влажность пыли φ_p при различной относительной влажности воздуха φ_v (смачиваемость 99 %):

φ_p , %	0,65	0,80	1,20	3,0	7,25	14,2
φ_v , %	10	20	40	60	80	95

Характеристика газа-носителя: $t=150^\circ\text{C}$; $z=0,58$ г/м³.

17. Пыль обжига доломита Щелковского месторождения во вращающейся печи (производительность 10 т/ч) известково-доломитного цеха металлургического завода. Проба отобрана из газохода перед электрофильтром.

Морфология частиц пыли. Частицы оплавлены, неправильной и овальной формы, с включением мелких игольчатых частиц. В проходящем свете имеют окраску от бесцветной до желтовато-красной. В общей массе пыль бежевого цвета ($d_{50}=25$ мкм; $S_{уд}=3400$ см²/г).

Дисперсный состав (ротационная сепарация в промышленных условиях):

d , мкм	2,5	4,0	6,3	10	16	25	40
g , % (по массе)	95	92	89	80	69	50	26
v , см/с	0,05	0,14	0,35	0,89	2,3	5	14

Механические свойства пыли: $\gamma_m=2960$ кг/м³; $\gamma_{н.у}=980$ кг/м³; $\gamma_y=1220$ кг/м³; $\alpha_{ст}=57^\circ$; $\alpha_d=36^\circ$; $P=116$ Па; $K_a=4,28 \cdot 10^{-11}$ м²/кг.

УЭС слоя пыли при различных температурах:

УЭС, Ом·м	$3 \cdot 10^6$	$3,1 \cdot 10^7$	$2,5 \cdot 10^9$	$2,1 \cdot 10^{10}$	$1 \cdot 10^{10}$	$9,1 \cdot 10^9$
T , °C	20	50	100	150	200	250

Химический состав пыли:

Компоненты	п.п.п.	SiO ₂	Fe ₂ O ₃	Al ₂ O ₃	CaO	MgO	Na ₂ O	K ₂ O	SO ₃	
Содержание, %		12,2	3,4	1,8	0,7	39	30,5	0,2	0,5	2,2
(по массе)										

Равновесная влажность пыли φ_p при различной относительной влажности воздуха φ_v (смачиваемость 99 %):

φ_p , %	0,05	0,11	0,18	0,44	1,1	2,1
φ_v , %	10	20	40	60	80	95

Характеристика газа-носителя: $t=250^\circ\text{C}$; $z=87$ г/м³; $f=109$ г/м³; содержание в газе, % (объемами): 10,4 CO₂; 10,6 O₂; 79,8 N₂.

18. Пыль, выделяющаяся при сушке известняка в сушильном барабане (типоразмер 2,2×14) отделения сушки цементного цеха металлургического завода. Проба отобрана из бункера электрофильтра.

Морфология частиц пыли. Частицы неправильной формы с острыми гранями с включением волокнистых частиц. В проходящем свете большинство частиц серого цвета ($d_{50}=2,9$ мкм; $\sigma=2,07$; $S_{уд}=14500$ см²/г).

Дисперсный состав (седиментация в бензине):

d , мкм	1,0	1,6	2,5	4,0	6,3	10
g , % (по массе)	92	79	58	30	14	4
v , см/с	0,008	0,02	0,05	0,14	0,34	0,87

Механические свойства пыли: $\gamma_m=2900$ кг/м³; $\gamma_{н.у}=550$ кг/м³; $\gamma_y=875$ кг/м³; $\alpha_{ст}=62^\circ$; $\alpha_d=48^\circ$; $P=880$ Па; $K_a=3 \cdot 10^{-12}$ м²/кг.

Химический состав пыли:

Компоненты	п.п.п.	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	CaO	MgO	K ₂ O	Na ₂ O	SO ₃	
Содержание, %										
(по массе)		39	6,6	0,4	2,0	46,6	5,0	0,25	0,3	0,65

Равновесная влажность пыли φ_p при различной относительной влажности воздуха φ_v (смачиваемость 92 %):

φ_p , %	0,25	0,32	0,66	0,82	1,0	1,41
φ_v , %	10	20	40	60	80	95

Характеристика газа-носителя: $t=130^\circ\text{C}$; $z=15,8$ г/м³; $t_p=58^\circ\text{C}$; содержание в газе, % (объемами): 9,5 RO₂; 13 O₂; 77,5 N₂.

19. Пыль вращающейся печи обжига магнезита в цехе магнезитовых порошков. Проба отобрана из бункера электрофильтра ($\eta=99,1$ %).

Морфология частиц пыли. Частицы ветвистой, игольчатой формы; образуют крупные агрегаты в виде комков снега. В проходящем свете бесцветны ($d_{50}=5$ мкм; $\sigma=3,2$; $S_{уд}=16275$ см²/г).

Дисперсный состав (ротационная сепарация в лаборатории):

d , мкм	1	1,6	2,5	6,3	10	16	25	40
g , % (по массе)	9	16,5	29	58	72	83	92	97
v , см/с	0,008	0,02	0,05	0,29	0,8	2,05	5,0	12,8

Механические свойства пыли: $\gamma_m=2750$ кг/м³; $\gamma_{н.у}=560$ кг/м³; $\gamma_y=940$ кг/м³; $\alpha_{ст}=61^\circ$; $\alpha_d=50^\circ$; $P=526$ Па; $K_a<0,5 \cdot 10^{-12}$ м²/кг.

Химический состав пыли (рН водной вытяжки 8,2):

Компоненты	.	п.п.п.	SiO ₂	CaO	MgO	Fe ₂ O ₃	Al ₂ O ₃	SO ₃	F	K ₂ O+Na ₂ O
Содержание, %										
(по массе)	.	7,7	1,1	1,3	78,9	1,6	0,5	6,0	2,5	2,9

Равновесная влажность пыли φ_p при различной относительной влажности воздуха φ_v (смачиваемость 85,6 %):

φ_p , %	1	1,8	3,6	8,6	22	44
φ_v , %	10	20	40	60	80	95

Характеристика газа-носителя: $t=190^\circ\text{C}$; $z=10 \div 12$ г/м³; $t_p=38^\circ\text{C}$; $f=52$ г/м³ сухого газа.

8.3. ЗОЛА ЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ УГЛЕЙ И СЛАНЦЕВ

1. Легучая зола от сжигания эстонских сланцев ($Q_R^p=10,36$ МДж/кг, $A_p=48$ %, $W_p=12$ %, $S_p=1,2$) на Прибалтийской ГРЭС. Проба отобрана из бункера электрофильтра.

Морфология частиц золы. Частицы неправильной формы с оплавленными гранями, с включением блестящих сферических частиц размером от 5 до 30 мкм. Мелкие частицы в проходящем свете серовато-белые, пластинчатые. Большинство частиц размером до 30 мкм бледно-розового цвета. В общей массе цвет пыли бежевый ($d_{50}=13$ мкм; $\sigma=2,55$; $S_{уд}=3350$ см²/г).

Дисперсный состав (ротационная сепарация в лаборатории):

d , мкм	2,5	4,0	6,3	10	16	25	40
g , % (по мас- се)	94,2	88	79	64	45	25	10
v , см/с	0,04	0,12	0,3	0,77	1,97	4	12

Механические свойства золы: $\gamma_m = 2560$ кг/м³; $\gamma_{н.у} = 880$ кг/м³; $\gamma_y = 1060$ кг/м³; $\alpha_{ст} = 50^\circ$; $\alpha_d = 35^\circ$; $P = 34$ Па; $K_a = 3,3 \cdot 10^{-11}$ м²/кг.

УЭС слоя золы при различных температурах:

УЭС, Ом·м	$1,8 \cdot 10^{10}$	$6 \cdot 10^{10}$	$4,8 \cdot 10^{10}$	$4 \cdot 10^{10}$	$2 \cdot 10^{10}$	$6,5 \cdot 10^{10}$
T , °C	50	100	150	200	250	110

Химический состав золы (рН водной вытяжки 10,0):

Компоненты	. п.п.п.	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	CaO	MgO	TiO ₂	Na ₂ O	K ₂ O	SO ₃	
Содержание, % (по массе)		7,0	25,2	5,6	5,0	43	5,0	1,0	1,8	0,7	5,0

Равновесная влажность золы ϕ_n при различной относительной влажности воздуха ϕ_v :

ϕ_n , %	0,84	1,02	1,2	1,38	1,56
ϕ_v , %	20	40	60	80	95

2. Зола от сжигания угля Березовского месторождения ($Q_n^p = 13,6$ МДж/кг, $A^p = 7$ %, $W^p = 35,5$ %, $S^p = 0,2$ %; размол мельницей МВ-50-160) в котле типа БКЗ-210-140. Проба отобрана из газохода перед электрофильтром.

Морфология частиц золы. Частицы неправильной формы с включением сферических блестящих частиц с голубоватым оттенком в проходящем свете и крупных оплавленных частиц коричневого цвета. Частицы размером менее 20 мкм в основном светлые, волокнистой формы. В общей массе цвет пыли коричневый ($d_{50} = 11,5$ мкм; $\sigma = 2,67$; $S_{уд} = 5880$ см²/г).

Дисперсный состав (седиментация в керосине):

d , мкм	2,5	4,0	6,3	10	16	25	40
g , % (по мас- се)	93,5	87	75	57	32	12	2,5
v , см/с	0,04	0,1	0,26	0,66	1,71	4,18	10,7

Механические свойства золы: $\gamma_m = 2800$ кг/м³; $\gamma_{н.у} = 1010$ кг/м³; $\gamma_y = 1330$ кг/м³; $\alpha_{ст} = 69,5^\circ$; $\alpha_d = 40,7^\circ$; $P = 102$ Па; $K_a = 4,25 \cdot 10^{-11}$ м²/кг.

Химический состав золы (рН водной вытяжки 10,0):

Компоненты	п.п.п.	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	CaO	MgO	TiO ₂	SO ₃	K ₂ O	Na ₂ O	
Содержание, % (по массе)		1,6	31,4	11,8	11,5	33,5	4,7	0,6	2,2	0,6	0,7

Равновесная влажность золы ϕ_n при различной относительной влажности воздуха ϕ_v (при смачивании водой пыль схватывается):

ϕ_n , %	0,16	0,18	0,27	0,54	1,56	3,90
ϕ_v , %	10	20	40	60	80	95

Характеристика газа-носителя: $t = 120$ °C; $z = 4,1$ г/м³; содержание в газе, % (объемами): 11,6 RO₂; 7,8 O₂.

3. Зола от сжигания угля Назаровского месторождения ($Q_n^p = 15,7$ МДж/кг, $A^p = 9$ %, $W^p = 33$ %, $S^p = 0,2$ %) в котле типа БКЗ-320 Новосибирской ТЭЦ-3. Проба отобрана из бункера электрофильтра ($\eta \approx 99$ %).

Морфология частиц золы. Частицы овальной и сферической формы серого цвета, мелкие частицы до 5—10 мкм и грубые более 50 мкм неправильной формы с острыми гранями. Мелкие частицы — светло-серого, грубые — темно-коричневого цвета. В общей массе цвет пыли серо-коричневый ($d_{50} = 17$ мкм; $\sigma = 3,55$; $S_{уд} = 4900$ см²/г).

Дисперсный состав (седиментация в керосине):

d , мкм	2,5	4,0	6,3	10	16	25	40
g , % (по мас- се)	92,5	87	79	67,4	52	37	23
v , см/с	0,04	0,10	0,26	0,66	1,7	4,15	10,6

Механические свойства золы: $\gamma_m = 2810$ кг/м³; $\gamma_{н.у} = 1240$ кг/м³; $\gamma_y = 1670$ кг/м³; $\alpha_{ст} = 55^\circ$; $\alpha_d = 44,5^\circ$; $P = 310$ Па; $K_a = 1,9 \cdot 10^{-11}$ м²/кг.

Химический состав золы (рН водной вытяжки 10,0):

Компоненты	п.п.п.	SiO ₂	Fe ₂ O ₃	Al ₂ O ₃	CaO	MgO	SO ₃	Na ₂ O	K ₂ O	
Содержание, % (по массе)		0,9	34,6	9,3	11,6	32,0	8,1	2,4	0,3	0,6

Равновесная влажность золы ϕ_n при различной относительной влажности воздуха ϕ_v (при смачивании водой пыль схватывается):

ϕ_n , %	0,2	0,3	0,37	0,65	1,1	2,05
ϕ_v , %	10	20	40	60	80	95

Характеристика газа-носителя: $t = 150$ °C; $z = 6,5 \div 9,5$ г/м³.

4. Зола от сжигания смеси углей Назаровского и Ирша-Бородинского месторождений ($Q_n^p = 16,1$ МДж/кг, $A^p = 4,35$ %, $W^p = 30,56$ %, $S^p = 0,3$ %) на Красноярский ТЭЦ-1 в котле БКЗ-320-140. Проба отобрана из бункера электрофильтра ($\eta = 93,3$ %).

Морфология частиц золы. Частицы крупнее 5 мкм в основном сферической формы блестящие, бледно-розовые и желтоватые в проходящем свете и темно-коричневые пористые с развитой поверхностью. Мелкие частицы пластинчатой формы в проходящем свете серовато-белые. В общей массе цвет пыли серо-коричневый ($d_{50} = 22$ мкм, $\sigma = 2,35$, $S_{уд} = 1840$ см²/г).

Дисперсный состав (ротационная сепарация в лаборатории):

d , мкм	2,5	4,0	6,3	10	16	25	40
g , % (по мас- се)	98	96	92	83	67	42	19
v , см/с	0,05	0,13	0,3	0,8	2,2	5,2	13,5

Механические свойства золы: $\gamma_m = 2760$ кг/м³; $\gamma_{н.у} = 1390$ кг/м³; $\gamma_y = 1570$ кг/м³; $\alpha_{ст} = 58^\circ$; $\alpha_d = 32^\circ$; $P = 19$ Па; $K_a = 1,7 \cdot 10^{-11}$ м²/кг.

УЭС слоя золы при различных температурах:

УЭС, Ом·м	$3 \cdot 10^8$	$2,5 \cdot 10^8$	$1,7 \cdot 10^8$	$1,61 \cdot 10^8$	$4 \cdot 10^8$	$2,3 \cdot 10^8$
T , °C	20	50	100	150	200	120

Химический состав золы (рН водной вытяжки 11,0):

Компоненты	п.п.п.	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	CaO	MgO	TiO ₂	Na ₂ O	K ₂ O	SO ₃
Содержание, %										
(по массе)		1,4	45,6	4,4	10,3	27,3	5,3	0,5	1,0	0,7 2,2

Равновесная влажность золы φ_n при различной относительной влажности воздуха φ_b (при смачивании водой пыль схватывается):

φ_n , %	0,2	0,32	0,55	0,88	1,11	1,3
φ_b , %	10	20	40	60	80	95

Характеристика газа-носителя: $t=148^\circ\text{C}$; $z=5,36$ г/м³.

5. Зола от сжигания угля Черемховского месторождения ($Q_n^p=17,4$ МДж/кг, $W^p=13,3$ %, $A^p=27,8$ %, $S^p=0,96$ %, размол мельницей Ш-16 до остатка на сите 70 мкм, равного 30,6 %) в котле типа ПК-10 Иркутской ТЭЦ-1. Проба отобрана из бункера электрофилтра.

Морфология частиц золы. Частицы пыли оплавлены, неправильной и овальной формы, с включением сферических частиц размером 5—30 мкм. Мелкие частицы — светло-серые неправильной формы. Частицы грубее 100 мкм — темно-серого цвета с пористой поверхностью. В общей массе цвет пыли серый ($d_{50}=19$ мкм, $\sigma=3,3$, $S_{уд}=3720$ см²/г). Дисперсный состав (седиментация в керосине):

d , мкм	2,5	4,0	6,3	10	16	25	40
g , % (по массе)	95	90	83	70	55	40	23
v , см/с	0,02	0,06	0,17	0,44	1,72	2,75	6,4

Механические свойства золы: $\gamma_m=2070$ кг/м³; $\gamma_{н.у}=690$ кг/м³; $\gamma_y=960$ кг/м³; $\alpha_{ст}=62^\circ$; $\alpha_d=36^\circ$; $P=68$ Па.

УЭС слоя золы при различных температурах:

УЭС, Ом·м	$2 \cdot 10^9$	$6,2 \cdot 10^9$	$3 \cdot 10^{10}$	$3,8 \cdot 10^{10}$	$0,8 \cdot 10^{10}$
T , $^\circ\text{C}$	20	50	100	150	200

Химический состав золы (рН водной вытяжки 7,5):

Компоненты	п.п.п.	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	CaO	MgO	SO ₃	K ₂ O	Na ₂ O
Содержание, %									
по массе		2,1	63,5	17,9	6,7	4,5	0,7	0,4	1,2 0,2

Равновесная влажность золы φ_n при различной относительной влажности воздуха φ_b (смачиваемость 92 %):

φ_n , %	0,15	0,18	0,24	0,33	0,44	0,55
φ_b , %	10	20	40	60	80	95

Характеристика газа-носителя: $t=190 \div 210^\circ\text{C}$; $z=22,9 \div 25,6$ г/м³; содержание в газе, % (объемн.): 13 RO₂; 1,4 O₂.

6. Зола от сжигания угля Львовско-Волынского месторождения ($Q_n^p=13,4$ МДж/кг, $A^p=29$ %, $W^p=6,2$ %, $S^p=3,74$ %, размол мельницей ШБМ-50) в котле типа ТП-100 Бурштынской ГРЭС. Проба отобрана из газохода перед электрофилтром.

Морфология частиц золы. Частицы до 4—6 мкм и крупнее 50 мкм неправильной формы с оплавленными гранями. Частицы размером 5—50 мкм в основной массе сферические, 20—30 % из них в проходящем свете серые блестящие. Частицы размером 10—50 мкм сферической и овальной формы, с развитой поверхностью коричневого цвета. В общей массе цвет пыли светло-коричневый ($d_{50}=25$ мкм; $\sigma=2,19$; $S_{уд}=1950$ см²/г).

Дисперсный состав (седиментация в этиловом спирте):

d , мкм	2,5	4,0	6,3	10	16	25	40
g , % (по массе)	98,5	97,3	94,5	87,5	73	50	23
v , см/с	0,03	0,08	0,22	0,56	1,45	3,57	9,1

Механические свойства золы: $\gamma_m=2420$ кг/м³; $\gamma_{н.у}=1120$ кг/м³; $\gamma_y=1500$ кг/м³; $\alpha_{ст}=62^\circ$; $\alpha_d=39^\circ$; $P=91$ Па.

УЭС слоя золы при различных температурах:

УЭС, Ом·м	$2,8 \cdot 10^8$	$1,8 \cdot 10^9$	$1,2 \cdot 10^{10}$	$7 \cdot 10^9$	$2,8 \cdot 10^9$
T , $^\circ\text{C}$	20	50	100	150	200

Химический состав золы (рН водной вытяжки 7,0):

Компоненты	п.п.п.	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	CaO	MgO	SO ₃	Na ₂ O	K ₂ O
Содержание, %									
(по массе)		1,9	48,0	22,6	13,3	2,7	1,6	0,8	0,6 2,2

Равновесная влажность золы φ_n при различной относительной влажности воздуха φ_b (смачиваемость 77 %):

φ_n , %	0,1	0,12	0,2	0,35	0,56	0,80
φ_b , %	10	20	40	60	80	95

Характеристика газа-носителя: $t=148^\circ\text{C}$; $z=24$ г/м³; содержание в газе, % (объемн.): 11 RO₂; 8,8 O₂.

7. Зола от сжигания угля Подмосквинского бассейна ($Q_n^p=9,58$ МДж/кг, $A^p=29,6$ %, $W^p=30,6$ %, размол мельницей ШБМ-280/470) в котле типа ТП-51 ($t=1200^\circ\text{C}$, $\alpha=1,3$) Черепетской ГРЭС. Проба отобрана из газохода перед электрофилтром.

Морфология частиц золы. Частицы с оплавленными гранями, с включением частиц размером 5—40 мкм сферической формы, в проходящем свете полупрозрачных, блестящих, серого цвета. Частицы крупнее 40 мкм серого цвета пластинчатой формы с оплавленными гранями. Встречаются частицы коричневого цвета овальной формы. В общей массе пыль светло-серого цвета ($d_{50}=15$ мкм; $\sigma=4,0$; $S_{уд}=3950$ см²/г).

Дисперсный состав (ротационная сепарация в промышленных условиях)

d , мкм	2,5	4,0	6,3	10	16	25	40
g , % (по массе)	88	82	74	62	49	33	20
v , см/с	0,04	0,11	0,3	0,7	1,8	4,2	11,0

Механические свойства золы: $\gamma_m=2240$ кг/м³; $\gamma_{н.у}=780$ кг/м³; $\gamma_y=960$ кг/м³; $\alpha_{ст}=58^\circ$; $\alpha_d=35^\circ$; $P=134$ Па; $K_a=1,48 \cdot 10^{-11}$ м²/кг.

УЭС слоя золы при различных температурах:

УЭС, Ом·м	$1,5 \cdot 10^7$	$2,5 \cdot 10^8$	$6 \cdot 10^9$	$1,5 \cdot 10^9$	$5 \cdot 10^8$	$2,7 \cdot 10^8$	$6 \cdot 10^8$
T , $^\circ\text{C}$	20	50	100	150	200	250	100—120

Химический состав золы (рН водной вытяжки 5,5):

Компоненты	п.п.п.	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	CaO
Содержание, % (по мас-се)	0,6	51	32,1	7,4	3,6
Компоненты	MgO	Na ₂ O	K ₂ O	TiO ₂	SO ₃
Содержание, % (по мас-се)	0,7	0,7	1,7	0,4	1,2

Равновесная влажность золы Φ_n при различной относительной влажности воздуха Φ_v (смачиваемость 96 %):

Φ_n , %	0,21	0,27	0,30	0,33	0,48	1,24
Φ_v , %	10	20	40	60	80	95

Характеристика газа-носителя: $t=160^\circ\text{C}$; $z=28 \text{ г/м}^3$; $t_p^{s_2}=142^\circ\text{C}$; $f=54,6 \text{ г/м}^3$; содержание в газе, % (объемн.): 8,1 CO₂; 5,8 O₂; 0,05 CO; 0,36 SO₂.

8. Зола от сжигания угля марки Г Донецкого бассейна ($Q_n^p=19,5 \text{ МДж/кг}$, $A^p=35\%$, $W^p=8,3\%$, $S^p=2,3\%$) в котле типа ТПП-312-А Запорожской ГРЭС. Проба отобрана из бункера электрофилтра.

Морфология частиц золы. Частицы сферической и овальной формы, имеются включения крупных (более 30 мкм) частиц неправильной формы, аморфной структуры черного и коричневого цвета. В общей массе цвет пыли серо-коричневый ($d_{50}=20 \text{ мкм}$; $\sigma=3,2$; $S_{уд}=2680 \text{ см}^2/\text{г}$).

Дисперсный состав (ротационная сепарация в лаборатории):

d , мкм	2,5	4,0	6,3	10	16	25	40
g , % (по массе)	96	92	85	74	60	40	25
v , см/с	0,05	0,13	0,32	0,82	2,12	5,0	13

Механические свойства золы: $\gamma_m=2740 \text{ кг/м}^3$; $\gamma_{н.у}=910 \text{ кг/м}^3$; $\gamma_y=1130 \text{ кг/м}^3$; $\alpha_{ст}=50^\circ$; $\alpha_d=34^\circ$; $P=89 \text{ Па}$; $K_a=1,67 \cdot 10^{-11} \text{ м}^2/\text{кг}$.

УЭС слоя золы при различных температурах:

УЭС, Ом·м	$2 \cdot 10^9$	$6 \cdot 10^9$	$1,8 \cdot 10^{10}$	$1 \cdot 10^{10}$	$3 \cdot 10^9$	$1,8 \cdot 10^{10}$
T , $^\circ\text{C}$	50	100	150	200	250	150

Химический состав золы (рН водной вытяжки 6,0):

Компоненты	п.п.п.	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	CaO
Содержание, % (по массе)	2,4	51,4	18,6	14,2	3,4
Компоненты	MgO	TiO ₂	Na ₂ O	K ₂ O	SO ₃
Содержание, % (по массе)	1,7	1,0	0,6	0,7	3,9

Равновесная влажность золы Φ_n при различной относительной влажности воздуха Φ_v (смачиваемость 91,5 %):

Φ_n , %	0,78	0,95	1,15	1,33	1,5
Φ_v , %	20	40	60	80	95

Характеристика газа-носителя: $t=135^\circ\text{C}$.

9. Зола от сжигания угля марки Т Донецкого бассейна ($Q_n^p=27,2 \text{ МДж/кг}$, $A^p=17\%$, $W^p=4,5\%$, $S^p=2,5\%$; размол мельницей ММА 1640/2024) в котле типа ТП-170 (с шахтно-мельничной топкой) Ярославской ТЭЦ № 2. Проба отобрана из бункера опытного батарейного циклона.

Морфология частиц золы. Частицы менее 20 мкм в основной массе имеют игольчатую и пластинчатую форму с оплавленными гранями, в проходящем свете светло-серые. Среди частиц размером 10—40 мкм 30—40 % частиц сферических блестящих, светлых тонов в отраженном свете. Крупные частицы неправильной формы черного цвета. В общей массе пыль темно-серая ($d_{50}=23 \text{ мкм}$; $\sigma=2,56$; $S_{уд}=1650 \text{ см}^2/\text{г}$).

Дисперсный состав (седиментация в этиловом спирте):

d , мкм	2,5	4,0	6,3	10	16	25	40
g , % (по массе)	97,6	95	90,5	80	65	45	23
v , см/с	0,04	0,11	0,29	0,73	1,85	4,0	11

Механические свойства золы: $\gamma_m=2410 \text{ кг/м}^3$; $\gamma_{н.у}=890 \text{ кг/м}^3$; $\gamma_y=1030 \text{ кг/м}^3$; $\alpha_{ст}=48^\circ$; $\alpha_d=35^\circ$; $P=23 \text{ Па}$; $K_a=1,2 \cdot 10^{-11} \text{ м}^2/\text{кг}$.

УЭС слоя золы при различных температурах:

УЭС, Ом·м	$5 \cdot 10^9$	$4 \cdot 10^{10}$	$1,0 \cdot 10^{11}$	$3 \cdot 10^{10}$	$8 \cdot 10^9$	$1,0 \cdot 10^{11}$
T , $^\circ\text{C}$	50	100	150	200	250	140—150

Химический состав золы (рН водной вытяжки 7,5):

Компоненты	п.п.п.	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	CaO
Содержание, % (по массе)	2,7	46,7	18,3	17,7	3,4

Продолжение

Компоненты	MgO	TiO ₂	Na ₂ O	K ₂ O	SO ₃
Содержание, % (по массе)	4,0	0,2	0,9	0,9	1,3

Равновесная влажность золы Φ_n при различной относительной влажности воздуха Φ_v (смачиваемость 93 %):

Φ_n , %	0,47	0,55	0,64	0,73	0,84
Φ_v , %	20	40	60	80	95

Характеристика газа-носителя: $t=155^\circ\text{C}$; $z=14,3 \text{ г/м}^3$; $t_p^{s_2}=123^\circ\text{C}$; $f=65,5 \text{ г/м}^3$.

10. Зола от сжигания угля марки ПЖ Воркутинского месторождения ($Q_n^p=20 \text{ МДж/кг}$, $A^p=35\%$, $W^p=5,5\%$, $S^p=0,7\%$; размол мельницей Ш-10) в котле типа ТП-170 ($t=1900^\circ\text{C}$, $\alpha=1,35$) Воркутинской ТЭЦ. Проба отобрана из бункера батарейного циклона.

Морфология частиц золы. Большая часть частиц сферической формы 30—40 % частиц размером до 30 мкм блестящие прозрачные шарики, бесцветные в отраженном свете. Мелкие частицы серовато-белые, пластинчатые и волокнистые. Среди частиц размером 30—40 мкм встречаются оплавленные частицы коричневого цвета с развитой поверхностью. Частицы более 100 мкм черные неправильной формы. В общей массе

цвет пыли серо-коричневый. ($d_{50}=24$ мкм; $\sigma=2,02$; $S_{уд}=1970$ см²/г).
Дисперсный состав (ротационная сепарация в лаборатории):

d , мкм	2,5	4,0	6,3	10	16	25	40
g , % (по массе)	99,5	99	96	88	70	48	22
v , см/с	0,02	0,1	0,3	0,6	1,7	4,0	10,4

Механические свойства золы: $\gamma_m=2100$ кг/м³; $\gamma_{н.у}=560$ кг/м³; $\gamma_y=670$ кг/м³; $\alpha_{ст}=59^\circ$; $\alpha_d=43^\circ$; $P=36$ Па; $K_a=1,43 \cdot 10^{-11}$ м²/кг.

УЭС слоя золы при различных температурах:

УЭС, Ом·м	2,5·10 ⁸	1,3·10 ¹⁰	4,5·10 ¹⁰	8·10 ⁹
T , °C	20	50	100	150

УЭС, Ом·м	3,5·10 ⁹	1,7·10 ⁹	4,5·10 ¹⁰
T , °C	200	250	100

Химический состав золы (рН водной вытяжки 7,0):

Компоненты	п.п.п.	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	CaO
Содержание, % (по массе)	1,9	62,2	19,1	8,6	3,1
Компоненты	MgO	TiO ₂	Na ₂ O	K ₂ O	SO ₃
Содержание, % (по массе)	1,6	1,0	0,4	2,0	0,8

Равновесная влажность золы ϕ_p при различной относительной влажности воздуха ϕ_v (смачиваемость 98 %):

ϕ_p , %	0,12	0,14	0,15	0,20	0,43	0,83
ϕ_v , %	10	20	40	60	80	95

Характеристика газа-носителя: $t=160^\circ\text{C}$.

11. Зола от сжигания угля Интинского месторождения ($Q_H^p=18,2$ МДж/кг, $A^p=25,8$ %, $W^p=11,0$ %, $S^p=2,6$ %) в котле типа ТП-170 Котласской ТЭЦ. Проба отобрана из бункера мокروطковом золуловителя типа МП-ВТИ ($\eta=90$ %).

Морфология частиц золы. Частицы овальной и сферической формы с включением игольчатых. В основном цвет частиц серый в проходящем свете, встречаются частицы размером 10—40 мкм коричневого цвета. В общей массе цвет пыли серый ($d_{50}=19$ мкм; $\sigma=2,93$; $S_{уд}=2400$ см²/г).

Дисперсный состав (седиментация в этиловом спирте):

d , мкм	2,5	4,0	6,3	10	16	25	40
g , % (по массе)	96,8	93	88	77	60	40	24
v , см/с	0,03	0,08	0,21	0,5	1,35	3,3	8,0

Механические свойства золы: $\gamma_m=2240$ кг/м³; $\gamma_{н.у}=1000$ кг/м³; $\gamma_y=1300$ кг/м³; $\alpha_{ст}=63^\circ$; $\alpha_d=30^\circ$; $P=50$ Па; $K_a=0,948 \cdot 10^{-11}$ м²/кг.

УЭС слоя золы при различных температурах:

УЭС, Ом·м	4,3·10 ⁶	2·10 ⁶	4·10 ⁶	6,2·10 ⁷	4,8·10 ⁸	2·10 ⁸	1·10 ⁸
T , °C	20	50	100	150	200	250	300

Химический состав золы (рН водной вытяжки 10,0):

Компоненты	п.п.п.	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	CaO
Содержание, % (по массе)	2,9	55,1	9,8	20,3	3,1
Компоненты	MgO	SO ₃	K ₂ O	Na ₂ O	
Содержание, % (по массе)	2,6	1,4	1,0	1,0	

Равновесная влажность золы ϕ_p при различной относительной влажности воздуха ϕ_v (смачиваемость 91 %):

ϕ_p , %	0,05	0,06	0,07	0,28	0,53	1,0
ϕ_v , %	10	20	40	60	80	95

Характеристика газа-носителя: $t=140^\circ\text{C}$; $z=42$ г/м³; содержание в газе, % (объемн.): 12,1 CO₂; 0,2 SO₂; 73,6 N₂; 5,5 O₂; 8,6 H₂O.

12. Зола от сжигания угля марок КР и КСШ Карагандинского бассейна ($Q_H^p=20,4$ МДж/кг, $A^p=30,1$ %, $W^p=7,7$ %, $S^p=0,9$ %; размол мельницей ШБМ-287/470) в котле типа ТП-240 Черепетской ГРЭС. Проба отобрана из газохода перед электрофильтром.

Морфология частиц золы. Частицы игольчато-волокнистой и овальной формы. В проходящем свете большая часть частиц светло-серого цвета, в отраженном — бесцветные; сферические частицы темно-серые. Частицы крупнее 50 мкм в основном коричневого и черного цвета. В общей массе пыль серого цвета ($d_{50}=15,5$ мкм; $\sigma=2,83$; $S_{уд}=6900$ см²/г).

Дисперсный состав (седиментация в этиловом спирте):

d , мкм	2,5	4,0	6,3	10	16	26	40
g , % (по массе)	94,8	90	82	68	49	30	13
v , см/с	0,03	0,07	0,19	0,47	1,21	2,94	7,5

Механические свойства золы: $\gamma_m=2020$ кг/м³; $\gamma_{н.у}=632$ кг/м³; $\gamma_y=900$ кг/м³; $\alpha_{ст}=58^\circ$; $\alpha_d=44^\circ$; $P=58$ Па.

УЭС слоя золы при различных температурах:

УЭС, Ом·м	5,8·10 ⁷	2,3·10 ⁸	5,6·10 ⁹
T , °C	20	50	100

Продолжение

УЭС, Ом·м	1,2·10 ¹⁰	1,6·10 ¹⁰	1,8·10 ¹⁰
T , °C	150	200	160—170

Химический состав золы (рН водной вытяжки 7,0):

Компоненты	п.п.п.	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	CaO
Содержание, % (по массе)	3,6	57,7	24,8	3,8	3,0

Продолжение

Компоненты	MgO	SO ₃	Na ₂ O	K ₂ O
Содержание, % (по массе)	3,5	0,48	0,6	1,4

Равновесная влажность золы φ_n при различной относительной влажности воздуха φ_v (смачиваемость 86 %):

φ_n , %	0,07	0,10	0,18	0,28	0,40	0,57
φ_v , %	10	20	40	60	80	95

Характеристика газа-носителя: $t=150\div160^\circ\text{C}$; $z=43,2$ г/м³; $f=56$ г/м³; содержание в газе, % (объемн.): 12,5 RO₂; 4,5 O₂.

13. Зола от сжигания угля марки СС Нерюнгринского месторождения ($Q_n^p=24,8$ МДж/кг, $A^p=12,5$ %, $W^p=10$ %; размол мельницы ШБМ 250/300) в котле типа ЦКТИ 75-39-2Ф ($t=2000^\circ\text{C}$, $\alpha=1,2$) Чульманской ГРЭС. Проба отобрана из газохода перед воздухоподогревателем.

Морфология частиц золы. Мелкие частицы овальной и волокнистой формы светлых тонов, с включением темных частиц неправильной формы с металлическим блеском в отраженном свете. Частицы крупнее 50 мкм в основном неправильной формы с острыми гранями, пористые черные. В общей массе пыль темно-серого цвета ($d_{50}=15$ мкм; $\sigma=2,20$; $S_{уд}=8350$ см²/г).

Дисперсный состав (ротационная сепарация в лаборатории):

d , мкм	2,5	4,0	6,3	10	16	25	40
g , % (по массе)	98	94	87	73	49	22	10
v , см/с	0,04	0,11	0,26	0,68	1,75	4,2	10,8

Механические свойства золы: $\gamma_m=2230$ кг/м³; $\gamma_{н.у}=340$ кг/м³; $\gamma_y=420$ кг/м³; $\alpha_{ст}=55^\circ$; $\alpha_d=39^\circ$; $P=35$ Па; $K_a=1,28 \cdot 10^{-11}$ м²/кг.

УЭС слоя золы при различных температурах:

УЭС, Ом·м	$6,3 \cdot 10^8$	$6 \cdot 10^9$	$9 \cdot 10^9$	$9 \cdot 10^9$
T , °C	20	50	100	150

Продолжение

УЭС, Ом·м	$6 \cdot 10^9$	$3,4 \cdot 10^9$	$5 \cdot 10^9$
T , °C	200	250	120

УЭС приведены для золы, прокаленной при 550°C . Исходная зола при 20°C имеет УЭС $=2 \cdot 10^6$ Ом·м.

Химический состав золы (рН водной вытяжки 7,5):

Компоненты	п.п.п.	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	CaO
Содержание, % (по массе)	22,6	44,9	20,3	3,3	2,7

Продолжение

Компоненты	MgO	TiO ₂	Na ₂ O	K ₂ O	SO ₃
Содержание, % (по массе)	1,5	0,85	0,45	1,3	0,60

Равновесная влажность золы φ_n при различной относительной влажности воздуха φ_v (смачиваемость 13 %):

φ_n , %	0,14	0,37	0,44	0,49	0,74	1,10
φ_v , %	10	20	40	60	80	95

Характеристика газа-носителя: $t=485^\circ\text{C}$; содержание в газе, % (объемн.): 16,0 CO₂; 4,0 O₂.

8.4. ПЫЛИ МАШИНОСТРОИТЕЛЬНОГО ПРОИЗВОДСТВА

1. Пыль, выделяющаяся при рассеивании и транспортировке формовочной земли в литейном цехе машиностроительного завода. Проба отобрана из бункера циклона ($\eta=84$ %).

Морфология частиц пыли. Частицы овальной и неправильной формы со сглаженными гранями. Частицы размером более 25 мкм в основном монолитны; в проходящем свете серого цвета с включением черных пористых частиц; мелкие частицы от серых тонов до черных; частицы размером 5–25 мкм в основном коричневого и черного цвета ($d_{50}=9$ мкм; $\sigma=3,9$; $S_{уд}=8600$ см²/г).

Дисперсный состав (ротационная сепарация в лаборатории):

d , мкм	1,6	2,5	4,0	6,3	10	16	25
g , % (по массе)	89	82	73	61	47	32	18
v , см/с	0,01	0,04	0,11	0,28	0,72	1,9	4,6

Механические свойства пыли: $\gamma_m=2400$ кг/м³; $\gamma_{н.у}=590$ кг/м³; $\gamma_y=680$ кг/м³; $\alpha_{ст}=59^\circ$; $\alpha_d=32^\circ$; $P=63$ Па; $K_a=0,43 \cdot 10^{-12}$ м²/кг.

Химический состав пыли (рН водной вытяжки 6,0):

Компоненты	п.п.п.	SiO ₂ своб.	SiO ₂ связ.	CaO
Содержание, % (по массе)	15,8	44,5	5,3	2,4

Продолжение

Компоненты	MgO	Fe ₂ O ₃	FeO	Al ₂ O ₃
Содержание, % (по массе)	0,9	4,5	6,1	17,8

Равновесная влажность пыли φ_n при различной относительной влажности воздуха φ_v (смачиваемость 10 %):

φ_n , %	0,4	0,6	1,0	1,5	2,3	4,3
φ_v , %	10	20	40	60	80	95

Характеристика газа-носителя: $t=28^\circ\text{C}$; $z=0,38$ г/м³.

2. Пыль, выделяющаяся при выплавке стали в электродуговой печи ДСП-3А сталеплавильного цеха машиностроительного завода. Проба отобрана из бункера рукавного фильтра ($\eta=99,4$ %).

Морфология частиц пыли. Частицы в основной массе овальной и зернистой формы. Среди частиц более 15 мкм встречаются крупные пористые частицы черного цвета, а среди частиц менее 2 мкм — частицы волокнистой и пластинчатой формы желтого, зеленовато-коричневого и желто-коричневого цветов. В общей массе цвет пыли темно-коричневый ($d_{50}=3,0$ мкм; $\sigma=3,1$; $S_{уд}=16000$ см²/г).

Дисперсный состав (ротационная сепарация в лаборатории):

d , мкм	1,6	2,5	4,0	6,3	10	16	25
g , % (по массе)	72	57	40	26	14	8	3
v , см/с	0,03	0,07	0,18	0,44	1,12	2,88	7,0

Механические свойства пыли: $\gamma_m=3980$ кг/м³; $\gamma_{н.у}=762$ кг/м³; $\gamma_y=950$ кг/м³; $\alpha_{ст}=51^\circ$; $\alpha_d=42^\circ$; $P=330$ Па.

Химический состав пыли (рН водной вытяжки 6,0):

Компоненты	п.п.п.	SiO ₂	Fe ₂ O ₃	Cr ₂ O ₃	MnO ₂	NiO
Содержание, % (по мас-се)	3,2	15,7	30	8,7	9,1	1,9

Продолжение

Компоненты	V ₂ O ₅	TiO ₂	WO ₃	Al ₂ O ₃	Na ₂ O	K ₂ O
Содержание, % (по мас-се)	2,2	2,5	11	1,6	0,8	0,8

Равновесная влажность пыли φ_n при различной относительной влажности воздуха φ_b :

φ_n , %	0,02	0,11	0,4	0,8	1,6	4,8
φ_b , %	10	20	40	60	80	95

Характеристика газа-носителя: $t=45^\circ\text{C}$; $z=0,136 \div 0,496$ г/м³.

3. Пыль шахтной вагранки открытого типа (производительность по литью 6,5 т/ч) литейного цеха машиностроительного завода.

Морфология частиц пыли. Частицы крупнее 50 мкм черные пористые, в отраженном свете с металлическим блеском. Частицы размером менее 50 мкм в проходящем свете в основном темно-серые и коричневые неправильной формы с острыми гранями. В общей массе цвет пыли коричневый ($d_{50}=120$ мкм, $\sigma=4,4$).

Дисперсный состав (ситовый анализ и седиментация в этиловом спирте):

d , мкм	4,0	6,3	10	16	25	40	63
g , % (по массе)	98,5	97	94,5	91	85	76	72
v , см/с	0,13	0,34	0,85	2,16	5,29	12,6	33

Механические свойства пыли: $\gamma_m=2830$ кг/м³; $\gamma_{n,y}=1560$ кг/м³; $\gamma_y=1730$ кг/м³; $\alpha_{ст}=55^\circ$; $\alpha_d=38^\circ$; $P=88$ Па; $K_a=1,31 \cdot 10^{-10}$ м²/кг.

Химический состав пыли (рН водной вытяжки 7,0):

Компоненты	Fe ₂ O ₃	SiO ₂	C
Содержание, % (по мас-се)	50,5	25,5	19,2

Равновесная влажность пыли φ_n при различной относительной влажности воздуха φ_b (смачиваемость 92,3 %):

φ_n , %	0,07	0,12	0,33	0,59	0,9	1,55
φ_b , %	10	20	40	60	80	95

Характеристика газа-носителя: $t=734^\circ\text{C}$; $z=5$ г/м³; содержание в газе, % (объемн.): 0,2 CO; 14,0 O₂; 7,0 CO₂; 0,12 SO₂; 78,7 N₂.

4. Пыль бессемеровского конвертера (производительность по литью 2 т/ч) литейного цеха машиностроительного завода. Проба отобрана из газохода конвертера.

Морфология частиц пыли. Частицы пыли неправильной формы; при размере свыше 10 мкм с острыми гранями, при меньшем размере оплавлены. В проходящем свете цвет частиц от коричневого до черного. В общей массе цвет пыли черный ($d_{50}=18$ мкм; $\sigma=5,1$; $S_{уд}=3500$ см²/г).

Дисперсный состав (седиментация в этиловом спирте):

d , мкм	2,5	4,0	6,3	10	16	25	40
g , % (по массе)	89	83	75	65	55	43	32
v , см/с	0,07	0,19	0,46	1,17	3,5	7,0	19

Механические свойства пыли: $\gamma_m=3900$ кг/м³; $\gamma_{n,y}=2200$ кг/м³; $\gamma_y=2430$ кг/м³; $\alpha_{ст}=55^\circ$; $\alpha_d=37^\circ$; $P=49$ Па; $K_a=1,04 \cdot 10^{-10}$ м²/кг.

Химический состав пыли (рН водной вытяжки 7,0):

Компоненты	Fe _{общ}	C	SiO ₂
Содержание, % (по мас-се)	67	12,5	5,8

Равновесная влажность пыли φ_n при различной относительной влажности воздуха φ_b (смачиваемость 77 %):

φ_n , %	0,06	0,07	0,08	0,09	0,11	0,21
φ_b , %	10	20	40	60	80	95

Характеристика газа-носителя: $t=180^\circ\text{C}$; $z=8$ г/м³; содержание в газе, % (объемн.): 0,12 CO; 18,8 O₂; 1,4 CO₂; 0,02 SO₂.

5. Пыль галтовочного барабана литейного цеха машиностроительного завода. Проба отобрана из бункера циклона ($\eta=92$ %).

Морфология частиц пыли. Частицы пыли неправильной формы с острыми гранями. В проходящем свете основная масса частиц красных оттенков (от желтого до коричневого). Встречаются частицы кристаллической формы, в проходящем свете бесцветные или светло-голубые ($d_{50}=34,5$ мкм; $\sigma=2,5$; $S_{уд}=1290$ см²/г).

Дисперсный состав (седиментация в керосине):

d , мкм	4	6,3	10	16	25	40	63
g , % (по массе)	97	94,4	88,5	78	64	42	21
v , см/с	0,13	0,32	0,8	2,06	5,03	12,9	30

Механические свойства пыли: $\gamma_m=2690$ кг/м³; $\gamma_{n,y}=980$ кг/м³; $\gamma_y=1440$ кг/м³; $\alpha_{ст}=60^\circ$; $\alpha_d=41^\circ$; $P=226$ Па; $K_a=3,1 \cdot 10^{-11}$ м²/кг.

Химический состав пыли (рН водной вытяжки 7,8):

Компоненты	п.п.п.	SiO ₂	Fe ₂ O ₃	FeO	Al ₂ O ₃	CaO	MgO
Содержание, % (по массе)	2,7	47,3	18,7	10,1	8,3	3,1	1,7

Равновесная влажность пыли φ_n при различной относительной влажности воздуха φ_b (смачиваемость 82,5 %):

φ_n , %	0,04	0,08	0,2	0,35	0,57	2,28
φ_b , %	10	20	40	60	80	95

6. Пыль очистки чугуна литья в пескоструйной камере (производительность по литью 2,5 т/ч) литейного цеха машиностроительного завода. Проба отобрана из бункера циклона ($\eta=97$ %).

Морфология частиц пыли. Частицы размером более 150 мкм в основной массе кристаллической формы со сглаженными гранями, в проходящем свете бесцветные и желтовато-серые. Частицы размером менее 200 мкм с острыми гранями желто-серого и коричневого цвета. Встречаются частицы игольчатой и пластинчатой формы, в проходящем свете бесцветные и светло-серые ($d_{50}=280$ мкм, $\sigma=1,7$).

Дисперсный состав (ситовый анализ):

d , мкм	100	160	200	315	400	630
g , % (по массе)	97	88,7	70	41,3	22,8	7,1
v , см/с	80					

Механические свойства пыли: $\gamma_m = 2665 \text{ кг/м}^3$; $\gamma_{п.у} = 1490 \text{ кг/м}^3$; $\gamma_y = 1660 \text{ кг/м}^3$; $\alpha_{ст} = 39^\circ$; $\alpha_d = 35^\circ$; $P = 100 \text{ Па}$; $K_a = 8,3 \cdot 10^{-11} \text{ м}^2/\text{кг}$.

Химический состав пыли (рН водной вытяжки 7,3):

Компоненты	п.п.п.	SiO ₂ (своб.)	SiO ₂ (связ.)	Fe	CaO	MgO
Содержание, % (по массе)	1,3	42,3	15,3	15,5	1,3	0,9

Равновесная влажность пыли φ_n при различной относительной влажности воздуха φ_v (смачиваемость 98 %):

φ_n , %	0,02	0,03	0,04	0,1	0,22	0,35
φ_v , %	10	20	40	60	80	95

Характеристика газа-носителя: $t = 18^\circ\text{C}$, $z = 5,4 \text{ г/м}^3$.

7. Пыль очистки чугуна литья дробью в полуавтоматической дробеменной машине 323 (производительность по литью 3 т/ч) литейного цеха машиностроительного завода. Проба отобрана из бункера циклона ($\eta = 98\%$).

Морфология частиц пыли. Частицы неправильной формы с острыми гранями, в проходящем свете в основном коричневого и темно-серого цвета (в последнем случае с металлическим блеском). Встречаются прозрачные бесцветные частицы игольчатой формы ($d_{50} = 26 \text{ мкм}$, $S_{уд} = 1640 \text{ см}^2/\text{г}$).

Дисперсный состав (седиментация в керосине):

d , мкм	4,0	6,3	10	16	25	40
g , % (по массе)	98,8	97,2	93	80	53	15
v , см/с	0,22	0,55	1,4	3,58	8,75	21,5

Механические свойства пыли: $\gamma_m = 4670 \text{ кг/м}^3$; $\gamma_{п.у} = 1390 \text{ кг/м}^3$; $\gamma_y = 1540 \text{ кг/м}^3$; $\alpha_{ст} = 38^\circ$; $\alpha_d = 37^\circ$; $P = 49 \text{ Па}$; $K_a = 0,648 \cdot 10^{-10} \text{ м}^2/\text{кг}$.

Химический состав пыли (рН водной вытяжки 7,5):

Компоненты	SiO ₂ (связ.)	SiO ₂ (своб.)	CaO	MgO	Fe	Fe ₂ O ₃	Al ₂ O ₃
Содержание, % (по массе)	1,0	9,3	9,1	1,8	24,6	43,0	7,9

Равновесная влажность пыли φ_n при различной относительной влажности воздуха φ_v (смачиваемость 34,8 %):

φ_n , %	0,05	0,06	0,09	0,12	0,22	0,42
φ_v , %	10	20	40	60	80	95

Характеристика газа-носителя: $t = 22^\circ\text{C}$; $z = 7,3 \text{ г/м}^3$; состав: 100 % воздуха.

8. Пыль заточных станков инструментального цеха машиностроительного завода. Проба отобрана из бункера циклона ($\eta = 96\%$).

Морфология частиц пыли. Частицы неправильной зернистой формы с включением металлической стружки; грани частиц сглажены. Цвет пыли темно-серый ($d_{50} = 38 \text{ мкм}$; $\sigma = 1,64$; $S_{уд} = 1200 \text{ см}^2/\text{г}$).

Дисперсный состав (седиментация в керосине):

d , мкм	10	16	25	40	63
g , % (по массе)	99,5	96,5	82	47	10
v , см/с	1,23	3,28	8,0	20,5	50,5

Механические свойства пыли: $\gamma_m = 4230 \text{ кг/м}^3$; $\gamma_{п.у} = 1620 \text{ кг/м}^3$; $\gamma_y = 1870 \text{ кг/м}^3$; $\alpha_{ст} = 66^\circ$; $\alpha_d = 40^\circ$; $P < 30 \text{ Па}$; $K_a = 1,08 \cdot 10^{-10} \text{ м}^2/\text{кг}$.

Химический состав пыли (рН водной вытяжки 7,0):

Компоненты	SiO ₂	Fe _{общ}	Al ₂ O ₃	CaO	MgO	S
Содержание, % (по массе)	58,3	31,2	2,8	0,9	4,5	0,2

Равновесная влажность пыли φ_n при различной относительной влажности воздуха φ_v :

φ_n , %	0,09	0,096	0,10	0,11	0,12	0,18
φ_v , %	10	20	40	60	80	95

Характеристика газа-носителя: $t = 22^\circ\text{C}$; $z = 1,02 \text{ г/м}^3$.

8.5. ПЫЛИ ПРОМЫШЛЕННОСТИ СТРОИТЕЛЬНЫХ МАТЕРИАЛОВ

1. Пыль, выделяющая при сушке доменного шлака в сушильном барабане (типоразмер 2,2×14) отделения сушки цементного цеха металлургического завода. Проба отобрана из бункера электрофилтра ($\eta = 96\%$).

Морфология частиц пыли. Частицы неправильной формы с острыми гранями. В проходящем свете большинство частиц серого цвета с включением розовато-коричневых частиц размером 5—10 мкм. В общей массе цвет пыли бежевый ($d_{50} = 17,5 \text{ мкм}$; $\sigma = 3,5$; $S_{уд} = 4290 \text{ см}^2/\text{г}$).

Дисперсный состав (седиментация в бензине):

d , мкм	1,6	2,5	4,0	6,3	10	16	25	40
g , % (по массе)	96	92	86	78	65	53	40	26
v , см/с	0,014	0,054	0,14	0,31	0,87	2,2	5,4	13

Механические свойства пыли: $\gamma_m = 2910 \text{ кг/м}^3$; $\gamma_{п.у} = 842 \text{ кг/м}^3$; $\gamma_y = 1072 \text{ кг/м}^3$; $\alpha_{ст} = 56^\circ$; $\alpha_d = 43^\circ$; $P = 270 \text{ Па}$; $K_a = 0,66 \cdot 10^{-10} \text{ м}^2/\text{кг}$.

Химический состав пыли (рН водной вытяжки 7,5):

Компоненты	п.п.п.	SiO ₂	CaO	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃
Содержание, % (по массе)	12,1	28	39,2	5,2	1,6

Компоненты	MgO	Na ₂ O	K ₂ O	SO ₃
Содержание, % (по массе)	5,5	0,6	0,5	6,7

Равновесная влажность пыли φ_n при различной относительной влажности воздуха φ_v :

φ_n , %	0,2	0,3	0,4	0,65	1,15	2,35
φ_v , %	10	20	40	60	80	95

Характеристика газа-носителя: $t = 115^\circ\text{C}$; $z = 10,2 \text{ г/м}^3$; $t_p = 64^\circ\text{C}$; содержание в газе, % (объемн.): 15,6 O₂; 78,2 N₂; 6,2 RO₂.

2. Пыль, выделяющаяся при помоле смеси известняка, шлака и коллоидной пыли (в соотношении 58:38:4) в сырьевой мельнице цементного цеха металлургического завода.

Морфология частиц пыли. Большинство частиц неправильной формы с острыми гранями, пористые; встречаются частицы размером 3—5 мкм овальной формы и мельче 2 мкм иглообразной формы. Цвет пыли серый ($d_{50} = 4,5 \text{ мкм}$; $S_{уд} = 11000 \text{ см}^2/\text{г}$).

Дисперсный состав (седиментация в бензине):

d, мкм	1,6	2,5	4,0	6,3	10
g, % (по массе)	94	82,5	58	20	0,5
v, см/с	0,021	0,052	0,13	0,33	0,84

Механические свойства пыли: $\gamma_m=2800$ кг/м³; $\gamma_{н.у.}=611$ кг/м³; $\gamma_y=789$ кг/м³; $\alpha_{ст}=53^\circ$; $\alpha_d=44,5^\circ$; $P=845$ Па; $K_a=8,8 \cdot 10^{-12}$ м²/кг.

Химический состав пыли (рН водной вытяжки 7,5):

Компоненты	п. п. п.	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	CaO
Содержание, % (по массе)	35,4	6,5	2,5	2,3	46,6

Компоненты	MgO	K ₂ O	Na ₂ O	SO ₃
Содержание, % (по массе)	3,1	0,2	0,2	1,0

Равновесная влажность пыли ϕ_n при различной относительной влажности воздуха ϕ_b :

ϕ_n , %	0,3	0,36	0,58	0,72	1,1	1,9
ϕ_b , %	10	20	40	60	80	95

Характеристика газа-носителя: $t=75^\circ\text{C}$; $z=12$ г/м³; $t_p=36^\circ\text{C}$.

3. Пыль вращающейся печи обжига клинкера при мокром способе производства цемента. Проба отобрана из газохода перед электрофильтром.

Морфология частиц пыли. Частицы иглообразные, пластинчатые и в форме многогранников, склонны к агрегированию. В проходящем свете частицы имеют светлые тона. В общей массе цвет пыли бежевый ($d_{50}=2,8$ мкм; $\sigma=2,3$; $S_{уд}=17300$ см²/г).

Дисперсный состав (ротационная сепарация в промышленных условиях):

d, мкм	1,0	1,6	2,5	4,0	6,3	10
g, % (по массе)	87	74	55	35	18	7
v, см/с	0,008	0,013	0,051	0,13	0,325	0,82

Механические свойства пыли: $\gamma_m=2750$ кг/м³; $\gamma_{н.у.}=561$ кг/м³; $\gamma_y=820$ кг/м³; $\alpha_{ст}=78^\circ$; $\alpha_d=46^\circ$; $P=320$ Па.

УЭС слоя пыли при различных температурах:

УЭС, Ом·м	$1 \cdot 10^8$	$3 \cdot 10^8$	$4 \cdot 10^9$	$6 \cdot 10^{10}$	$1 \cdot 10^{11}$	$4 \cdot 10^{10}$
T, °C	20	50	100	150	200	250

Химический состав пыли (рН водной вытяжки 9,0):

Компоненты	п. п. п.	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	CaO
Содержание, % (по массе)	33,3	15,0	4,7	2,3	39,2

Компоненты	MgO	SO ₃	Na ₂ O	K ₂ O
Содержание, % (по массе)	2,2	1,5	0,13	2,0

Равновесная влажность пыли ϕ_n при различной относительной влажности воздуха ϕ_b (смачиваемость 100 %):

ϕ_n , %	0,8	0,9	1,5	2,8	4,8	6,9
ϕ_b , %	10	20	40	60	80	95

Характеристика газа-носителя: $t=250 \div 280^\circ\text{C}$; $z=30 \div 80$ г/м³; $f=30 \div 45$ г/м³; содержание в газе, % (объемн.): 14,5—20,0 RO₂; 8,0—11,0 O₂; остальное N₂.

4. Пыль печи обжига клинкера (вращающаяся печь диаметром 5, длиной 75 м, $Q=60$ т/ч) при сухом способе производства цемента. Проба отобрана из газохода перед электрофильтром.

Морфология частиц пыли. Частицы неправильной формы с оплавленными гранями. Мелкие частицы пластинчатой и волокнистой формы склонны к образованию агрегатов. Частицы в проходящем свете светло-серые с розоватым оттенком ($d_{50}=4,9$ мкм; $\sigma=2,6$; $S_{уд}=13600$ см²/г).

Дисперсный состав (седиментация в бензине):

d, мкм	1,0	1,6	2,5	4,0	6,3	10	16
g, % (по массе)	94	88	77	59	37	17	5
v, см/с	0,009	0,023	0,054	0,14	0,36	0,86	2,2

Механические свойства пыли: $\gamma_m=2890$ кг/м³; $\gamma_{н.у.}=735$ кг/м³; $\gamma_y=1010$ кг/м³; $\alpha_{ст}=57,5^\circ$; $\alpha_d=45^\circ$; $P=635$ Па.

УЭС, Ом·м	$2,6 \cdot 10^7$	$3,0 \cdot 10^7$	$9 \cdot 10^7$	$2 \cdot 10^8$	$1 \cdot 10^8$	$9 \cdot 10^7$
T, °C	20	50	100	150	200	250

Химический состав пыли (рН водной вытяжки 9,0):

Компоненты	п. п. п.	SiO ₂	Al ₂ O ₃ +Fe ₂ O ₃	CaO	MgO
Содержание, % (по массе)	34,8	17,6	4,1	40,6	1,4

Равновесная влажность пыли ϕ_n при различной относительной влажности воздуха ϕ_b (смачиваемость 93 %):

ϕ_n , %	0,24	0,35	0,55	0,77	1,16	1,85
ϕ_b , %	10	20	40	60	80	95

Характеристика газа-носителя: $t=130^\circ\text{C}$; $z=24,4$ г/м³; $f=144$ г/м³.

5. Пыль сушильных барабанов СМ-103 асфальтобетонного завода. Уловлена зернистым фильтром ФЦГН-30 ($\eta=98,9 \div 99,5$ %).

Морфология частиц пыли. Частицы остроугольные, неправильной формы. Большинство частиц размером крупнее 5 мкм в проходящем свете серого цвета с голубоватым оттенком. Частицы мельче 5 мкм коричневатого-красные с включением светло-серых частиц игольчатой формы. В общей массе цвет пыли светло-коричневый ($d_{50}=20$ мкм; $S_{уд}=2700$ см²/г).

Дисперсный состав (ротационная сепарация в лабораторных условиях):

d, мкм	1,6	2,5	4,0	6,3	10	16	25
g, % (по массе)	97,7	96	92,5	87,6	77	62	36
v, см/с	0,019	0,049	0,12	0,30	0,77	1,9	4,9

Механические свойства пыли: $\gamma_m=2600$ кг/м³; $\gamma_{н.у.}=990$ кг/м³; $\gamma_y=1230$ кг/м³; $\alpha_{ст}=61,5^\circ$; $\alpha_d=37^\circ$; $P=34$ Па; $K_a=0,3 \cdot 10^{-10}$ м²/кг

Химический состав пыли (рН водной вытяжки 8,0):

Компоненты	п. п. п.	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	CaO	MgO	SO ₃
Содержание, % (по массе)	6	56	5,1	5,3	20,2	4,5	1,0

Равновесная влажность пыли ϕ_n при различной относительной влажности воздуха ϕ_b (смачиваемость 35 %):

ϕ_n , %	0,14	0,2	0,24	0,33	0,65	1,94
ϕ_b , %	10	20	40	60	80	95

Характеристика газа-носителя: $t=160 \div 180^\circ\text{C}$; $z=5,5 \div 9$ г/м³; $t_p=72^\circ\text{C}$; $f=368$ г/м³; содержание в газе, % (объемн.): 7,0 CO₂; 8,35 O₂; 0,05 CO.

6. Пыль кабин оцинкования домостроительных деталей с помощью электродугового аппарата ЭМ-12 в цехе закладных деталей завода железобетонных изделий. Проба отобрана из бункера циклона ($\eta=77\%$).

Морфология частиц пыли. Частицы в основной массе сферической формы с включением осколков сфер, столбчатых зерен. Цвет пыли голубовато-серый ($d_{50}=16,5$ мкм; $\sigma=3,3$; $S_{уд}=4220$ см²/г).

Дисперсный состав (ротационная сепарация в лабораторных условиях):

d , мкм	2,5	4,0	6,3	10	16	25	40
g , % (по массе)	93	87,5	79	66	51	34	19
v , см/с	0,12	0,32	0,78	1,98	5,06	12,4	30,6

Механические свойства пыли: $\gamma_m=6600$ кг/м³; $\gamma_{н.у.}=2600$ кг/м³; $\gamma_y=3400$ кг/м³; $\alpha_{ст}=55^\circ$; $\alpha_d=45^\circ$; $P=392$ Па.

Химический состав пыли (рН водной вытяжки 7,0):

Компоненты	Zn	Cu	Al	Fe
Содержание, %				
(по массе)	80	Следы	0,05	0,4

Равновесная влажность пыли ϕ_n при различной относительной влажности воздуха ϕ_v (смачиваемость 79 %):

ϕ_n , %	0,018	0,025	0,035	0,08	0,18	0,4
ϕ_v , %	10	20	40	60	80	95

Характеристика газа-носителя: $t=15\div 25^\circ\text{C}$; $z=0,5$ г/м³.

8.6. ПЫЛИ ХИМИЧЕСКОГО ПРОИЗВОДСТВА

1. Пыль обжига колчедана (огарок) в печи типа КС-450 печного отделения сернокислотного завода. Проба отобрана из газохода перед электрофильтром.

Морфология частиц пыли. Частицы с развитой поверхностью, зернистой формы с включением мелких (менее 1—2 мкм) волоконистых частиц от серого до светло-коричневого цвета; более крупные частицы густо-коричневые. Пыль склонна к образованию агрегатов ($d_{50}=3,7$ мкм; $\sigma=1,85$; $S_{уд}=17120$ см²/г).

Дисперсный состав (седиментация в бензине):

d , мкм	1,0	1,6	2,5	4,0	6,3	10
g , % (по массе)	98	91,5	75	45	14	1,3
v , м/с	0,013	0,034	0,083	0,21	0,53	1,3

Механические свойства пыли: $\gamma_m=4500$ кг/м³; $\gamma_{н.у.}=570$ кг/м³; $\gamma_y=700$ кг/м³; $\alpha_{ст}=57^\circ$; $\alpha_d=40,5^\circ$; $P=397$ Па; $K_a=0,9\cdot 10^{-12}$ м²/кг.

Химический состав пыли (рН водной вытяжки 3,0):

Компоненты	SiO ₂	Fe ₂ O ₃	FeO	CaO	MgO
Содержание, % (по массе)	13	70	2,9	1,6	1,7

Компоненты	Al ₂ O ₃	Na ₂ O	K ₂ O	SO ₃
Содержание, % (по массе)	3,3	0,3	0,3	4,7

Равновесная влажность пыли ϕ_n при различной относительной влажности воздуха ϕ_v (смачиваемость 98 %):

ϕ_n , %	0,5	1,0	3,2	8,8	18	30
ϕ_v , %	10	20	40	60	80	95

Характеристика газа-носителя: $t=434^\circ\text{C}$; $z=18$ г/м³; содержание в газе, % (объемн.): 9,1 SO₂.

2. Двухосновная соль гипохлорита кальция (ДСГПК), выделяющаяся при сушке продукта в сушильном агрегате цеха гипохлорита содового завода. Проба отобрана из бункера циклона ($\eta=96\%$).

Морфология частиц пыли. Частицы неправильной и игольчатой формы; образуют крупные агрегаты с высокоразвитой поверхностью. Цвет пыли белый ($d_{50}=98$ мкм; $S_{уд}=2100$ см²/г).

Дисперсный состав (ситовый анализ + ротационная сепарация в лаборатории):

d , мкм	16	25	40	63	100	160	250
g , % (по массе)	97	95	92	81	54	18	8
v , м/с	1,6	3,6	9,7	31	59	150	340

Механические свойства пыли: $\gamma_m=1980$ кг/м³; $\gamma_{н.у.}=520$ кг/м³; $\gamma_y=770$ кг/м³; $\alpha_{ст}=61^\circ$; $\alpha_d=45^\circ$; $P=310$ Па; $K_a<0,5\cdot 10^{-12}$ м²/кг.

Химический состав пыли:

Компоненты	Cl активный	H ₂ O
Содержание, %		
(по массе)	40,0	1,8

Равновесная влажность пыли ϕ_n при различной относительной влажности воздуха ϕ_v (смачиваемость 100 %):

ϕ_n , %	0,48	0,52	0,8	1,5	6,9	18
ϕ_v , %	10	20	40	60	80	95

Характеристика газа-носителя: $t=112^\circ\text{C}$; $z=64,3$ г/м³.

3. Сульфат натрия, образующийся в сордерегенационном котлоагрегате целлюлозно-бумажного комбината. Проба отобрана из бункера электрофильтра ($\eta=80\div 85\%$).

Морфология частиц пыли. Частицы имеют вид мелкодисперсных пластинок со сглаженными гранями, склонными к образованию агрегатов размером до 15—20 мкм. Цвет пыли белый ($d_{50}=1,1$ мкм; $\sigma=1,7$; $S_{уд}=54100$ см²/г).

Дисперсный состав (седиментация в центробежном поле, среда—ацетон):

d , мкм	0,4	0,63	1,0	1,6	2,5
g , % (по массе)	97	86	58	20	4
v , м/с	0,001	0,003	0,008	0,02	0,05

Механические свойства пыли: $\gamma_m=2740$ кг/м³; $\gamma_{н.у.}=200$ кг/м³; $\gamma_y=300$ кг/м³; $\alpha_{ст}=72^\circ$; $\alpha_d=41^\circ$; $P=1830$ Па; $K_a<0,5\cdot 10^{-12}$ м²/кг.

УЭС слоя пыли при различных температурах:

УЭС, Ом·м	$8\cdot 10^6$	$4,3\cdot 10^6$	$9\cdot 10^6$	$5,5\cdot 10^7$	$9,5\cdot 10^6$	$2\cdot 10^6$
T , $^\circ\text{C}$	20	50	100	150	200	250

Химический состав пыли (рН водной вытяжки 9,0):

Компоненты	K ₂ O	Na ₂ O	SO ₃
Содержание, % (по массе)			
	3,8	42	54

Равновесная влажность пыли ϕ_n при различной относительной влажности воздуха ϕ_v (смачиваемость 100 %):

ϕ_n , %	0,35	0,38	0,49	0,75	2,4	72
ϕ_v , %	10	20	40	60	80	95

Характеристика газа-носителя: $t=140^{\circ}\text{C}$; $z=4,1 \text{ г/м}^3$; содержание в газе, % (объемн.): $17,0 \text{ CO}_2$; $2,4 \text{ O}_2$; $80,0 \text{ N}_2$; $0,2 [\text{H}_2\text{S} + \text{CH}_3\text{SH} + (\text{CH}_3)_2\text{S}]$.

4. Пыль производства технического мышьяковистого ангидрида (обжиг мышьяковистой руды) на горно-химическом комбинате. Проба отобрана из бункера пыльного рукавного фильтра ($\eta=98,6\%$).

Морфология частиц пыли. Частицы имеют вид мелких кристаллов ромбической и неправильной формы со сглаженными гранями, образующими агрегаты ветвистой формы. В проходящем свете блестящие. В общей массе цвет пыли серый ($d_{50}=8,2 \text{ мкм}$; $\sigma=3,0$; $S_{уд}=11100 \text{ см}^2/\text{г}$).

Дисперсный состав (седиментация в керосине):

d , мкм	1,6	2,5	4,0	6,3	10	16	25
g , % (по массе)	92	85	66	59	43	28	16
v , м/с	0,02	0,05	0,13	0,34	0,85	2,1	5,4

Механические свойства пыли: $\gamma_m=2840 \text{ кг/м}^3$; $\gamma_{н.у}=200 \text{ кг/м}^3$; $\gamma_y=300 \text{ кг/м}^3$; $\alpha_{ст}=72^{\circ}$; $\alpha_d=41^{\circ}$; $P=460 \text{ Па}$; $K_a=1,3 \cdot 10^{-12} \text{ м}^2/\text{кг}$.

Равновесная влажность пыли ϕ_n при различной относительной влажности воздуха ϕ_v (смачиваемость 100%):

ϕ_n , %	0,85	1,6	3,5	7,0	18
ϕ_v , %	10	20	40	60	80

Характеристика газа-носителя: $t=70^{\circ}\text{C}$; $z=0,84 \text{ г/м}^3$; $t_p=29^{\circ}\text{C}$.

5. Краска порошковая эпоксидная марки П-ЭП-219, выделяющаяся при нанесении защитных покрытий на изделия. Проба отобрана из бункера рукавного фильтра, установленного после камеры ручного метода нанесения порошковой краски на изделия в поле высокого напряжения на лакокрасочном заводе.

Морфология частиц пыли. Частицы неправильной формы с острыми гранями; в проходящем свете блестящие. В общей массе цвет пыли белый ($d_{50}=40 \text{ мкм}$; $\sigma=2,85$; $S_{уд}=1827 \text{ см}^2/\text{г}$).

Дисперсный состав (ротационная сепарация в лаборатории):

d , мкм	2,5	4,0	6,3	10	16	25	40
g , % (по массе)	96,6	95,5	92,5	89	82	70	50
v , м/с	0,02	0,06	0,16	0,42	1,07	2,62	6,0

Механические свойства пыли: $\gamma_m=1390 \text{ кг/м}^3$; $\gamma_{н.у}=562 \text{ кг/м}^3$; $\gamma_y=797 \text{ кг/м}^3$; $\alpha_{ст}=64^{\circ}$; $\alpha_d=39^{\circ}$; $P=230 \text{ Па}$.

Равновесная влажность пыли ϕ_n при различной относительной влажности воздуха ϕ_v :

ϕ_n , %	0,04	0,09	0,12	0,26	0,32	0,51
ϕ_v , %	10	20	40	60	80	95

Характеристика газа-носителя: $t=20^{\circ}\text{C}$; $z=2,1 \text{ г/м}^3$.

6. Краска порошковая эпоксидная марки П-ЭП-971, выделяющаяся при нанесении защитных покрытий на трубы. Проба отобрана из бункера рукавного фильтра ($\eta=99,8$), установленного за системой аспирации комплекса нанесения защитных покрытий на трубном заводе.

Морфология частиц пыли. Частицы неправильной формы с острыми гранями блестящие, красного цвета ($d_{50}=31 \text{ мкм}$; $\sigma=1,85$; $S_{уд}=1715 \text{ см}^2/\text{г}$).

Дисперсный состав (седиментация в дистиллированной воде):

d , мкм	6,3	10	16	25	40	63
g , % (по массе)	98	94	85	65	35	5
v , м/с	0,15	0,39	1,0	2,5	6,4	15

Механические свойства пыли: $\gamma_m=1300 \text{ кг/м}^3$; $\gamma_{н.у}=509 \text{ кг/м}^3$; $\gamma_y=675 \text{ кг/м}^3$; $\alpha_{ст}=60^{\circ}$; $\alpha_d=38^{\circ}$; $P=80 \text{ Па}$; $K_a=1,5 \cdot 10^{-12} \text{ м}^2/\text{кг}$.

Равновесная влажность пыли ϕ_n при различной относительной влажности воздуха ϕ_v :

ϕ_n , %	0,06	0,1	0,14	0,21	0,35	0,44
ϕ_v , %	10	20	40	60	85	95

Характеристика газа-носителя: $t=20^{\circ}\text{C}$; $z=5,3 \text{ г/м}^3$; состав газа (объемн.): 100% воздуха.

7. Белая сажа марки У-333, выделяющаяся при сушке в сушильном барабане. Проба отобрана из газохода перед системой пылеулавливания в цехе белой сажи завода синтетического каучука.

Морфология частиц пыли. Частицы мелкодисперсные, зернистые со сглаженными гранями. Пыль склонна к образованию пористых агрегатов размером до 10 мкм . Цвет пыли белый ($d_{50}=1,15 \text{ мкм}$; $\sigma=1,28$).

Дисперсный состав (седиментация в центробежном поле, среда — вода):

d , мкм	0,4	0,63	1,0	1,6	2,5	4,0
g , % (по массе)	98,6	94	78	55	25	7,7
v , м/с	0,001	0,003	0,006	0,02	0,04	0,1

Механические свойства пыли: $\gamma_m=2120 \text{ кг/м}^3$; $\gamma_{н.у}=122 \text{ кг/м}^3$; $\gamma_y=137 \text{ кг/м}^3$; $\alpha_{ст}=72^{\circ}$; $\alpha_d=55^{\circ}$; $P=132 \text{ Па}$; $K_a=1,2 \cdot 10^{-12} \text{ м}^2/\text{кг}$.

Равновесная влажность пыли ϕ_n при различной относительной влажности воздуха ϕ_v (смачиваемость 100%):

ϕ_n , %	3,5	6,8	8,4	9,4	10,3	10,9
ϕ_v , %	10	20	40	60	80	95

Характеристика газа-носителя: $t=210^{\circ}\text{C}$; $z=13 \text{ г/м}^3$; содержание в газе, % (объемн.): $1,7 \text{ CO}_2$; $11,5 \text{ O}_2$; $28,0 \text{ H}_2\text{O}$; $59,0 \text{ N}_2$.

8. Белая сажа марки БС-50, выделяющаяся при сушке в сушильном барабане. Проба отобрана из газохода перед скруббером.

Морфология частиц пыли. Частицы неправильной формы с острыми гранями. Образуют хлопьевидные агрегаты размером до $30-40 \text{ мкм}$ ($d_{50}=1,15 \text{ мкм}$; $\sigma=1,77$).

Дисперсный состав (седиментация в центробежном поле, среда — вода):

d , мкм	0,25	0,4	0,63	1,0	1,6	2,5
g , % (по массе)	97	93	84	70	54	35
v , м/с	0,0004	0,0009	0,002	0,006	0,015	0,035

Механические свойства пыли: $\gamma_m=1900 \text{ кг/м}^3$; $\gamma_{н.у}=120 \text{ кг/м}^3$; $\gamma_y=138 \text{ кг/м}^3$; $P=186 \text{ Па}$; $K_a<0,5 \cdot 10^{-12} \text{ м}^2/\text{кг}$.

Равновесная влажность пыли ϕ_n при различной относительной влажности воздуха ϕ_v (смачиваемость 78%):

ϕ_n , %	1,33	1,9	3,2	4,4	7,65	16,1
ϕ_v , %	10	20	40	60	80	95

Характеристика газа-носителя: $t=190\div 230^\circ\text{C}$; $z=13$ г/м³; $f=158$ г/м³ сухого газа; содержание в газе, % (объемн.): 1,7 CO₂; 12,0 O₂; 28,0 H₂O; 59,0 N₂.

9. Сажа марки ПМ-70. Проба отобрана из технологического потока после холодильника-испарителя перед системой очистки газов на заводе по производству технического углерода.

Морфология частиц пыли. Частицы — мельчайшие кристаллики с гладкой поверхностью. Легко коагулируют, образуя агрегаты жестко сросшихся частиц размером до 100 мкм и более ($d_{50}=12$ мкм; $\sigma=4,8$).

Дисперсный состав (ротационная сепарация в промышленных условиях):

d , мкм	1,0	1,6	2,5	4,0	6,3	10	16	25	40
g , % (по массе)	91	88	82	75	67	55	40	83	6
v , м/с	0,006	0,015	0,035	0,09	0,2	0,6	1,5	3,5	9,0

Механические свойства пыли: $\gamma_m=1900$ кг/м³; $\gamma_{н.у}=35$ кг/м³; $\gamma_y=98$ кг/м³; $\alpha_{ст}=85\div 90^\circ$; $\alpha_d=65^\circ$; $P=720$ Па.

Равновесная влажность пыли φ_n при различной относительной влажности воздуха φ_v :

φ_n , %	0,5	1,0	4,6	9,0	15	24
φ_v , %	10	20	40	60	80	95

Характеристика газа-носителя: $t=255^\circ\text{C}$; $z=67$ г/м³; $t_p=72^\circ\text{C}$.

10. Пыль печных газов в производстве желтого фосфора в электропечи ОКБ-640 на химическом заводе. Проба отобрана с пода электро-фильтра.

Морфология частиц пыли. Большинство частиц игольчатой формы. Легко слипаются, образуя лучистые агрегаты, бесцветные в проходящем свете. Встречаются частицы зернистой формы небесно-голубого цвета. В общей массе цвет пыли светло-серый ($d_{50}=6$ мкм; $\sigma=4$; $S_{уд}=15600$ см²/г).

Дисперсный состав (ротационная сепарация в лаборатории):

d , мкм	1,6	2,5	4,0	6,3	10	16	25	40
g , % (по массе)	82	72	61	48	34	21	9	4
v , м/с	0,018	0,04	0,11	0,28	0,7	1,9	4,6	11,7

Механические свойства пыли: $\gamma_m=2400$ кг/м³; $\gamma_{н.у}=210$ кг/м³; $\gamma_y=330$ кг/м³; $\alpha_{ст}=56^\circ$; $\alpha_d=48^\circ$; $P=730$ Па; $K_a<0,5\cdot 10^{-12}$ м²/кг.

УЭС слоя пыли при различных температурах:

УЭС, Ом·м	$3,5\cdot 10^8$	$4\cdot 10^8$	$2,8\cdot 10^9$	$7\cdot 10^9$	$4\cdot 10^9$	$3\cdot 10^9$
T , °C	20	50	100	150	200	250

Химический состав пыли (рН водной вытяжки 5,0):

Компоненты	P ₂ O ₅	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	CaO	MgO	Na ₂ O	K ₂ O	SO ₃
Содержание, % (по массе)	46,0	17,0	22,0	2,2	3,5	3,2	1,1	2,8	0,9

Равновесная влажность пыли φ_n при различной относительной влажности воздуха φ_v (смачиваемость 60 %):

φ_n , %	0,07	0,12	1,2	1,6	4,2	11,4
φ_v , %	10	20	40	60	80	95

11. Пыль, выделяющаяся при развеске ингредиентов резиновой смеси на автоматических весах в цехе подготовки сырья завода резинотехнических изделий. Проба отобрана из бункера рукавного фильтра ($\eta=98,9\%$) при фильтрации аспирационного воздуха. Периодически производится взвешивание более 20 компонентов (мела, магнезии, альтакса, каптакса, оксида цинка, талька, серы и др.).

Морфология частиц пыли. Частицы крупнее 20 мкм в основном неправильной формы с развитой поверхностью. Более мелкие частицы овальной и зернистой формы с включением сфер. В общей массе цвет пыли серый ($d_{50}=20$ мкм; $\sigma=2,1$; $S_{уд}=5850$ см²/г).

Дисперсный состав (ротационная сепарация в промышленных условиях):

d , мкм	4,0	6,3	10	16	25	40
g , % (по массе)	93	91	84	65	30	3
v , м/с	0,07	0,17	0,42	1,1	2,7	6,8

Механические свойства пыли: $\gamma_m=1410$ кг/м³; $\gamma_{н.у}=350$ кг/м³; $\gamma_y=460$ кг/м³; $\alpha_{ст}=65^\circ$; $\alpha_d=39^\circ$; $P=921$ Па; $K_a<0,5\cdot 10^{-12}$ м²/кг.

Равновесная влажность пыли φ_n при различной относительной влажности воздуха φ_v :

φ_n , %	0,15	0,18	0,20	0,30	0,80
φ_v , %	10	20	40	60	80

Характеристика газа-носителя: $t=20^\circ\text{C}$; $z=0,027$ г/м³; состав: 100 % воздуха.

12. Пыль, выделяющаяся при просеве на ситах «Бурат» ингредиентов резиновой смеси в цехе подготовки сырья завода резинотехнических изделий. Проба отобрана из бункера рукавного фильтра. Просеву подвергаются каолин, магнезия жженая, альдоль, параоксинеозон, тиурам, оксид цинка, тальк, сера, литопон, альтакс.

Морфология частиц пыли. Частицы в основном неправильной формы с острыми гранями; среди частиц размером менее 10 мкм встречаются сферические и овальные. Цвет пыли светло-серый ($d_{50}=6,7$ мкм; $\sigma=3,5$; $S_{уд}=12000$ см²/г).

Дисперсный состав (ротационная сепарация в промышленных условиях):

d , мкм	2,5	4,0	6,3	10	16	25	40
g , % (по массе)	79	66	54	38	24	15	9
v , м/с	0,04	0,1	0,25	0,65	1,67	4,05	10,4

Механические свойства пыли: $\gamma_m=2150$ кг/м³; $\gamma_{н.у}=493$ кг/м³; $\gamma_y=702$ кг/м³; $\alpha_{ст}=63^\circ$; $\alpha_d=40^\circ$; $P=409$ Па; $K_a=1\cdot 10^{-12}$ м²/кг.

Равновесная влажность пыли φ_n при различной относительной влажности воздуха φ_v :

φ_n , %	0,2	0,25	0,35	0,6	1,2	2,25
φ_v , %	10	20	40	60	80	95

Характеристика газа-носителя: $t=20^\circ\text{C}$; $z=0,03$ г/м³; состав газа: 100 % воздуха.

13. Пыль, выделяющаяся при сушке кроны цинкового в сушильной камере цеха кронов лакокрасочного завода. Проба отобрана из газохода перед рукавным фильтром.

Морфология частиц пыли. Частицы — кристаллы неправильной формы с развитой поверхностью. Мелкие частицы размером менее 2 мкм налипает на более крупные, образуя агрегаты размером до 20 мкм. Цвет пыли желтый ($d_{50}=3,8$ мкм; $\sigma=1,8$; $S_{уд}=27500$ см²/г).

Дисперсный состав (седиментация в центробежном поле, среда — вода дистиллированная):

d , мкм	1	1,6	2,5	4,0	6,3
g , % (по массе)	97	92	78	49	7
v , м/с	0,009	0,024	0,05	0,14	0,35

Механические свойства пыли: $\gamma_m = 3920$ кг/м³; $\gamma_{н-у} = 252$ кг/м³; $\gamma_y = 384$ кг/м³; $\alpha_{ст} = 65^\circ$; $\alpha_d = 53^\circ$; $P = 230$ Па.

Химический состав пыли (рН водной вытяжки 6,0):

Компоненты	ZnO	CrO ₃	K ₂ O
Содержание, % (по массе)	68	17	1,2

Равновесная влажность пыли φ_n при различной относительной влажности воздуха φ_v (смачиваемость 15 %):

φ_n , %	1,13	1,8	1,4	1,5	2,0	4,9
φ_v , %	10	20	40	60	80	95

Характеристика газа-носителя: $t = 120^\circ\text{C}$; $z = 26$ г/м³.

14. Пыль, выделяющаяся при прокаливании красного пигмента в прокалочной печи на лакокрасочном заводе. Проба отобрана из бункера электрофилтра ($\eta = 86,3$ %).

Морфология частиц пыли. Частицы неправильной формы со сглаженными гранями. Мелкие частицы размером менее 10 мкм образуют агрегаты ветвистой формы. Цвет пыли бурый ($d_{50} = 16$ мкм; $\sigma = 2,66$; $S_{уд} = 7100$ см²/г).

Дисперсный состав (ротационная сепарация в лабораторных условиях):

d , мкм	2,5	4,0	6,3	10	16	25	40
g , % (по массе)	96	91	83	70	50	25	7
v , м/с	0,06	0,18	0,45	1,1	2,8	6,1	17

Механические свойства пыли: $\gamma_m = 3400$ кг/м³; $\gamma_{н-у} = 633$ кг/м³; $\gamma_y = 828$ кг/м³; $\alpha_{ст} = 65^\circ$; $\alpha_d = 44^\circ$; $P = 345$ Па; $K_a < 0,5 \cdot 10^{-12}$ м²/кг.

Равновесная влажность пыли φ_n при различной относительной влажности воздуха φ_v (смачиваемость 100 %):

φ_n , %	0,1	0,8	10	22,5	35
φ_v , %	10	20	40	60	80

Характеристика газа-носителя: $t = 420^\circ\text{C}$; $z = 2 \div 4$ г/м³; содержание в газе, % (объемн.): 4,2 CO₂; 10,0 O₂; 3,1 SO₂; 0,09 SO₃; 71,0 N₂; 11,0 H₂O.

8.7. ПЫЛИ ПИЩЕВОЙ И МЯСОМОЛОЧНОЙ ПРОМЫШЛЕННОСТИ

1. Пыль переработки сои (пересыпка, рассев) в очистном отделении подготовительного цеха мясожиркомбината. Проба — смётка с оборудования.

Морфология частиц пыли. Частицы неправильной формы с включением крупных волокнистых и игольчатых частиц. Большинство частиц в проходящем свете прозрачные с голубоватым и желтоватым оттенком ($d_{50} = 16$ мкм; $\sigma = 2,13$; $S_{уд} = 10200$ см²/г).

Дисперсный состав (седиментация в керосине):

d , мкм	2,5	4,0	6,3	10	16	25	40
g , % (по массе)	98	95	89	75	50	24	6
v , м/с	0,03	0,08	0,2	0,5	1,3	3,2	8,0

Механические свойства пыли: $\gamma_m = 1690$ кг/м³; $\gamma_{н-у} = 310$ кг/м³; $\gamma_y = 600$ кг/м³; $\alpha_{ст} = 90^\circ$; $\alpha_d = 48^\circ$; $P = 43$ Па; $K_a = 1,3 \cdot 10^{-12}$ м²/кг.

Химический состав пыли (рН водной вытяжки 6,0):

Компоненты	п. п. п.	SiO ₂	Fe ₂ O ₃	Al ₂ O ₃	CaO	MgO
Содержание, % (по массе)	66	24,0	1,7	1,8	1,6	2,0

Равновесная влажность пыли φ_n при различной относительной влажности воздуха φ_v (смачиваемость 23 %):

φ_n , %	0,18	0,23	0,37	0,58	1,2	4,3
φ_v , %	10	20	40	60	80	95

Характеристика газа-носителя: $t = 18^\circ\text{C}$; $z = 0,05$ г/м³; состав газа: 100 % воздуха.

2. Пыль соевого шрота, выделяющаяся при работе пневмотранспорта, циклонных разгрузителей на складе шрота мясожиркомбината. Проба отобрана из воздуховода системы аспирации, смётка с оборудования.

Морфология частиц пыли. Частицы — обломки соевых зерен, песок. Встречаются волокнистые частицы желтого цвета. Большинство частиц с ошлифованными гранями, прозрачные в проходящем свете ($d_{50} = 23$ мкм; $\sigma = 2,08$; $S_{уд} = 3000$ см²/г).

Дисперсный состав (седиментация в керосине):

d , мкм	2,5	4	6,3	10	16	25	40
g , % (по массе)	99	98	94	86	70	46	20
v , м/с	0,02	0,07	0,17	0,44	1,10	2,78	7,0

Механические свойства пыли: $\gamma_m = 1480$ кг/м³; $\gamma_{н-у} = 490$ кг/м³; $\gamma_y = 710$ кг/м³; $\alpha_{ст} = 66^\circ$; $\alpha_d = 42^\circ$; $P = 68$ Па; $K_a < 0,5 \cdot 10^{-12}$ м²/кг.

Химический состав пыли (рН водной вытяжки 6,0):

Компоненты	п. п. п.	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	CaO	MgO
Содержание, % (по массе)	93	0,6	0,6	0,5	0,4	0,7

Равновесная влажность пыли φ_n при различной относительной влажности воздуха φ_v (смачиваемость 98 %):

φ_n , %	2,0	3,2	6,0	10,0	18,0	49,0
φ_v , %	10	20	40	60	80	95

Характеристика газа-носителя: $t = 18 \div 20^\circ\text{C}$; состав газа: 100 % воздуха.

3. Зерновая пыль, выделяющаяся при транспортировке, пересыпке и просеве пшеницы на элеваторе мукомольного завода. Проба — смётка с оборудования участка приемки зерна.

Морфология частиц пыли. Частицы — обломки стеблей и зерен с включением минеральных частиц неправильной формы размером до 40 мкм, серых в проходящем свете ($d_{50} = 28$ мкм; $\sigma = 3,0$; $S_{уд} = 4380$ см²/г).

Дисперсный состав (седimentация в изoамиловом спирте):

d, мкм	2,5	4,0	6,3	10	16	25	40
g, % (по массе)	98	95	91,5	83	70	55	36
v, м/с	0,029	0,073	0,182	0,458	1,2	2,9	7,3

Механические свойства пыли: $\gamma_m = 1530 \text{ кг/м}^3$; $\gamma_{н.у} = 380 \text{ кг/м}^3$; $\gamma_y = 570 \text{ кг/м}^3$; $\alpha_{ст} = 65^\circ$; $\alpha_d = 48^\circ$; $P = 105 \text{ Па}$.

Химический состав пыли (рН водной вытяжки 6,6):

Компоненты	п. п. п.	SiO ₂	Al ₂ O ₃ + Fe ₂ O ₃
Содержание, % (по массе)		90,1	5,3 1,2

Равновесная влажность пыли φ_n при различной относительной влажности воздуха φ_v (смачиваемость 7 %):

φ_n , %	1,2	2,8	5,6	8,7	14,5	28,0
φ_v , %	10	20	40	60	80	95

4. Пыль, выделяющаяся при производстве сухого молока в опытной сушильной установке (производительность по газу 300 м³/ч). Проба отобрана из бункера циклона.

Морфология частиц пыли. Частицы зернистой и овальной формы образуют агрегаты размером до 150 мкм с развитой поверхностью ($d_{50} = 26 \text{ мкм}$; $S_{уд} = 2400 \text{ см}^2/\text{г}$).

Дисперсный состав (ротационная сепарация в лаборатории):

d, мкм	2,5	4,0	6,3	10	16	25	40
g, % (по массе)	98,5	97	95	90	76	51	4
v, м/с	0,025	0,062	0,14	0,39	1,0	2,4	6,0

Механические свойства пыли: $\gamma_m = 1310 \text{ кг/м}^3$; $\gamma_{н.у} = 450 \text{ кг/м}^3$; $\gamma_y = 624 \text{ кг/м}^3$; $\alpha_{ст} = 90^\circ$; $\alpha_d = 56^\circ$; $P = 752 \text{ Па}$.

Равновесная влажность пыли φ_n при различной относительной влажности воздуха φ_v (смачиваемость 100 %):

φ_n , %	1,0	1,8	4,2	7,3	11,5	15,0
φ_v , %	10	20	40	60	80	95

5. Пыль, выделяющаяся при сушке крахмала растительного в сушилке типа ПСК-100. Проба отобрана из бункера группы циклонов ($\eta = 93 \%$).

Морфология частиц пыли. Частицы кристаллической формы с включением овальных частиц, блестящие в проходящем свете. Цвет пыли белый ($d_{50} = 25 \text{ мкм}$; $\sigma = 2,3$; $S_{уд} = 3020 \text{ см}^2/\text{г}$).

Дисперсный состав (ротационная сепарация в лаборатории):

d, мкм	4,0	6,3	10	16	25	40
g, % (по массе)	98,5	96	87	71	50	27
v, м/с	0,06	0,15	0,42	1,08	2,53	6,3

Механические свойства пыли: $\gamma_m = 1470 \text{ кг/м}^3$; $\gamma_{н.у} = 480 \text{ кг/м}^3$; $\gamma_y = 625 \text{ кг/м}^3$; $\alpha_{ст} = 85 \div 90^\circ$; $\alpha_d = 54^\circ$; $P = 380 \text{ Па}$.

Равновесная влажность пыли φ_n при различной относительной влажности воздуха φ_v (смачиваемость 100 %):

φ_n , %	0,2	0,37	0,54	0,7	1,1	2,2
φ_v , %	10	20	40	60	80	95

Характеристика газа-носителя: $t = 60^\circ\text{C}$.

8.8. ПЫЛИ ПРОИЗВОДСТВА СИНТЕТИЧЕСКИХ МОЮЩИХ СРЕДСТВ

1. Пыль распылительной сушилки фирмы «Лурги» (ФРГ) производства синтетического моющего средства «Айна» на нефтеперерабатывающем заводе. Проба отобрана из газохода перед пылеуловителем.

Морфология частиц пыли. Частицы — полые сферы и обломки сфер с пористой поверхностью. Цвет светло-желтый ($d_{50} = 120 \text{ мкм}$; $\sigma = 6,35$).

Дисперсный состав (ротационная сепарация в промышленности):

d, мкм	6,3	10	16	25	40	100
g, % (по массе)	94	90	87	81	72	58
v, м/с	0,21	0,54	1,39	3,4	8,7	51

Механические свойства пыли: $\gamma_m = 1800 \text{ кг/м}^3$; $\gamma_{н.у} = 273 \text{ кг/м}^3$; $\gamma_y = 347 \text{ кг/м}^3$; $\alpha_{ст} = 60^\circ$; $\alpha_d = 44,5^\circ$; $P = 539 \text{ Па}$; $K_a < 0,5 \cdot 10^{-12} \text{ м}^2/\text{кг}$.

Химический состав пыли (рН водной вытяжки 9,1):

Компоненты	ПАВ	Na ₅ P ₃ O ₁₀	Na ₂ SiO ₃	Na ₂ SO ₄
Содержание, % (по массе)	20	30	5	18

Компоненты	Na ₂ CO ₃	КМЦ	H ₂ O
Содержание, % (по массе)	1,5	2	10

Равновесная влажность пыли φ_n при различной относительной влажности воздуха φ_v (смачиваемость 100 %):

φ_n , %	0,5	1,3	4,8	17	28	40
φ_v , %	10	20	40	60	80	95

Характеристика газа-носителя: $t = 120^\circ\text{C}$; $z = 9,21 \text{ г/м}^3$; $f = 73 \div 85 \text{ г/м}^3$ сухого газа; содержание в газе, % (объемн.): 2 CO₂; 19 O₂; 6,8 H₂O.

2. Пыль распылительной сушилки фирмы «Баллестра» производства синтетического моющего средства «Кристалл» на заводе товаров народного потребления. Проба отобрана из газохода перед пылеуловителем.

Морфология частиц пыли. Частицы неправильной со сглаженными гранями и овальной формы. В отраженном свете светлых тонов; крупные — матовые, менее 15 мкм — блестящие, бесцветные ($d_{50} = 31 \text{ мкм}$; $S_{уд} = 3200 \text{ см}^2/\text{г}$).

Дисперсный состав (ротационная сепарация в лаборатории):

d, мкм	4,0	6,3	10	16	25	40	63
g, % (по массе)	95,5	91	82	72	55	40	29
v, м/с	0,08	0,21	0,54	1,4	3,4	8,7	20

Механические свойства пыли: $\gamma_m = 1800 \text{ кг/м}^3$; $\gamma_{н.у} = 250 \text{ кг/м}^3$; $\gamma_y = 322 \text{ кг/м}^3$; $\alpha_{ст} = 60^\circ$; $\alpha_d = 40^\circ$; $P = 420 \text{ Па}$; $K_a < 0,5 \cdot 10^{-12} \text{ м}^2/\text{кг}$.

Химический состав пыли (рН водной вытяжки 9,5):

Компоненты	ПАВ	Несульфидированные соединения	Na ₅ P ₃ O ₁₀	Na ₂ SiO ₃	H ₂ O
Содержание, % (по массе)	20	2,0	22	49	7,2

Равновесная влажность пыли $\varphi_{\text{п}}$ при различной относительной влажности воздуха $\varphi_{\text{в}}$ (смачиваемость 100 %):

$\varphi_{\text{п}}, \%$	0,4	0,8	4,4	14	26	36
$\varphi_{\text{в}}, \%$	10	20	40	60	80	95

Характеристика газа-носителя: $t=100^\circ\text{C}$; $z=10,5 \text{ г/м}^3$; $f=60 \text{ г/м}^3$ сухого газа.

3. Пыль распылительной сушилки фирмы «Кестнер» (ФРГ) производства синтетического моющего средства «Кристалл» на химическом комбинате. Проба отобрана из газохода перед пылеуловителем.

Морфология частиц пыли. Частицы овальной и неправильной формы с включением обломков сфер. В общей массе цвет пыли светло-желтый ($d_{50}=100 \text{ мкм}$).

Дисперсный состав (ситовый метод):

$d, \text{ мкм}$	50	100	160	200	315	400
$g, \%$ (по массе)	75	50	29	19	5,1	1,8

Механические свойства пыли: $\gamma_{\text{м}}=1860 \text{ кг/м}^3$; $\gamma_{\text{н.у}}=275 \text{ кг/м}^3$; $\gamma_{\text{у}}=343 \text{ кг/м}^3$; $\alpha_{\text{ст}}=48^\circ$; $\alpha_{\text{д}}=39^\circ$; $P=50 \text{ Па}$.

Химический состав пыли (рН водной вытяжки 10):

Компоненты	Алкил-сульфаты	$\text{Na}_5\text{P}_3\text{O}_{10}$	Na_2SO_3	Na_2CO_3	КМЦ
Содержание, % (по массе)	23	45	3	2	0,2

Равновесная влажность пыли $\varphi_{\text{п}}$ при различной относительной влажности воздуха $\varphi_{\text{в}}$ (смачиваемость 100 %):

$\varphi_{\text{п}}, \%$	0,38	1,2	5,1	16	28	42
$\varphi_{\text{в}}, \%$	10	20	40	60	80	95

Характеристика газа-носителя: $t=130^\circ\text{C}$; $z=10 \text{ г/м}^3$; $f=96 \text{ г/м}^3$ сухого газа.

4. Пыль распылительной сушилки фирмы «Лурги» (ФРГ) производства синтетического моющего средства «Нева» на комбинате СМС. Проба отобрана из бункера группы циклонов ($\eta=99,7 \%$).

Морфология частиц пыли. Частицы неправильной формы с острыми гранями. Поверхность частиц пористая. Цвет пыли белый ($d_{50}=150 \text{ мкм}$; $S_{\text{уд}}=2100 \text{ см}^2/\text{г}$).

Дисперсный состав (ситовый метод):

$d, \text{ мкм}$	100	160	200	315	400
$g, \%$ (по массе)	97	50	37	11,2	3,7
$v, \text{ м/с}$	54,3	139	217	540	870

Механические свойства пыли: $\gamma_{\text{м}}=1800 \text{ кг/м}^3$; $\gamma_{\text{н.у}}=300 \text{ кг/м}^3$; $\gamma_{\text{у}}=380 \text{ кг/м}^3$; $\alpha_{\text{ст}}=50^\circ$; $\alpha_{\text{д}}=40^\circ$; $P=304 \text{ Па}$; $K_{\text{а}}<0,5 \cdot 10^{-12} \text{ м}^2/\text{кг}$.

Химический состав пыли:

Компоненты	Сульфанол	$\text{Na}_5\text{P}_3\text{O}_{10}$	Na_2CO_3	Na_2SO_4
Содержание, % (по массе)	25	30	10	17
Компоненты	Na_2SiO_3	NaBO_3	H_2O	КМЦ
Содержание, % (по массе)	4	7	5	2

Равновесная влажность пыли $\varphi_{\text{п}}$ при различной относительной влажности воздуха $\varphi_{\text{в}}$ (пыль полностью растворяется в воде).

$\varphi_{\text{п}}, \%$	0,3	0,7	2,1	11	23	33
$\varphi_{\text{в}}, \%$	10	20	40	60	80	95

Характеристика газа-носителя: $t=120^\circ\text{C}$; $z=14 \text{ г/м}^3$; содержание в газе, % (объемн.): 86,0 продукты сгорания природного газа; воздух — остальное.

5. Пыль распылительной сушилки фирмы «Кестнер» (ФРГ) производства синтетического моющего средства «Лотос» на жиркомбинате. Проба отобрана из газохода перед пылеуловителем.

Морфология частиц пыли. Частицы неправильной формы либо в виде осколков сфер. Встречаются полые шарообразные частицы. Цвет пыли светло-желтый ($d_{50}=120 \text{ мкм}$).

Дисперсный состав (ситовый метод):

$d, \text{ мкм}$	50	63	100	160	200	315	400
$g, \%$ (по массе)	26	34	43	60	67	83	90
$v, \text{ м/с}$	12,8	20,3	51,5	132	206	512	825

Механические свойства пыли: $\gamma_{\text{м}}=1700 \text{ кг/м}^3$; $\gamma_{\text{н.у}}=380 \text{ кг/м}^3$; $\gamma_{\text{у}}=440 \text{ кг/м}^3$; $\alpha_{\text{ст}}=45^\circ$; $\alpha_{\text{д}}=38^\circ$; $P=196 \text{ Па}$; $K_{\text{а}}<0,5 \cdot 10^{-12} \text{ м}^2/\text{кг}$.

Химический состав пыли:

Компоненты	СМС	Триполи-фосфат	Na_2SiO_3	Na_2SO_4	$\text{Na}_2\text{B}_4\text{O}_7$	КМЦ	Отбеливатель
Содержание, % (по массе)	22	30	5,0	16,9	8	0,9	0,1—0,2

Равновесная влажность пыли $\varphi_{\text{п}}$ при различной относительной влажности воздуха $\varphi_{\text{в}}$ (пыль полностью растворяется в воде):

$\varphi_{\text{п}}, \%$	0,5	0,9	4,2	15	39	74
$\varphi_{\text{в}}, \%$	10	20	40	60	80	95

Характеристика газа-носителя: $t=120^\circ\text{C}$; $z=8 \div 13 \text{ г/м}^3$; $f=125 \text{ г/м}^3$ сухого газа.

6. Пыль, выделяющаяся при сушке сульфанола в смеси с сульфатом натрия в прямоточной распылительной сушилке цеха моющих средств химического завода. Проба отобрана из бункера группового циклона.

Морфология частиц пыли. Частицы в основном неправильной формы, встречаются овальные частицы и обломки сфер; в проходящем свете блестящие серые, в общей массе цвет пыли желтый ($d_{50}=160 \text{ мкм}$; $\sigma=4,5$).

Дисперсный состав (ротационная сепарация в лаборатории):

$d, \text{ мкм}$	10	16	25	40	63	100
$g, \%$ (по массе)	95,5	93	88	82	76	65
$v, \text{ м/с}$	0,56	1,4	3,5	9,0	22	56

Механические свойства пыли: $\gamma_{\text{м}}=1860 \text{ кг/м}^3$; $\gamma_{\text{н.у}}=260 \text{ кг/м}^3$; $\gamma_{\text{у}}=350 \text{ кг/м}^3$; $\alpha_{\text{ст}}=59^\circ$; $\alpha_{\text{д}}=52^\circ$; $P=61 \text{ Па}$; $K_{\text{а}}<0,5 \cdot 10^{-12} \text{ м}^2/\text{кг}$.

Химический состав пыли (рН водной вытяжки 10,5):

Компоненты	Сумгаитский сульфанол	Na_2SO_4	H_2O
Содержание, % (по массе)	40	56	4

Равновесная влажность пыли $\varphi_{\text{п}}$ при различной относительной влажности воздуха $\varphi_{\text{в}}$ (смачиваемость 100 %):

$\varphi_{\text{п}}, \%$	1	1,5	2	13	30	47
$\varphi_{\text{в}}, \%$	10	20	40	60	80	95

Характеристика газа-носителя: $t=110^\circ\text{C}$; $z=19\div 25$ г/м³; содержание в газе, % (объемн.): 19 O₂; 2 CO₂; 6 H₂O; 73 N₂.

8.9. ПЫЛИ ПРОИЗВОДСТВА БИОКОНЦЕНТРАТОВ

1. Пыль распылительной сушильной установки ЗТ-100 производства энтобактерина. Проба отобрана из бункера циклона ($\eta=68\%$).

Морфология частиц пыли. Основная масса частиц овальной и сферической, реже — неправильной формы со сглаженными гранями. Частицы пыли склонны к коагуляции. Цвет пыли светло-желтый ($d_{50}=31$ мкм; $\sigma=2,6$; $S_{\text{уд}}=1635$ см²/г).

Дисперсный состав (седimentация в изоамиловом спирте):

d , мкм	2,5	4,0	6,3	10	16	25	40
g , % (по массе)	99	97	92,5	85	73	59	40
v , м/с	0,02	0,07	0,17	0,45	1,13	2,8	7,0

Механические свойства пыли: $\gamma_{\text{м}}=1480$ кг/м³; $\gamma_{\text{п-у}}=563$ кг/м³; $\gamma_{\text{у}}=751$ кг/м³; $\alpha_{\text{ст}}=64^\circ$; $\alpha_{\text{д}}=48^\circ$; $P=122,6$ Па; $K_{\text{а}}<0,5\cdot 10^{-12}$ м²/кг.

Равновесная влажность пыли $\varphi_{\text{п}}$ при различной относительной влажности воздуха $\varphi_{\text{в}}$ (смачиваемость 10 %):

$\varphi_{\text{п}}, \%$	1,0	2,5	4,6	13	65
$\varphi_{\text{в}}, \%$	10	20	40	60	80

Характеристика газа-носителя: $t=52^\circ\text{C}$; $z=2,2$ г/м³; состав газа, % (объемн.): 100 воздух.

2. Пыль распылительной сушильной установки ЗТ—100 производства энтобактерина на предприятии биохимических препаратов. Проба отобрана из бункера рукавного фильтра ($\eta=95\%$).

Морфология частиц пыли. Частицы менее 50 мкм в основном сферической и овальной формы, более крупные — неправильной формы со сглаженными гранями. В проходящем свете блестящие, светло-желтые ($d_{50}=21$ мкм; $\sigma=3$; $S_{\text{уд}}=3170$ см²/г).

Дисперсный состав (седimentация в изоамиловом спирте):

d , мкм	2,5	4	6,3	10	16	25	40
g , % (по массе)	97,5	93	86	75	60	43	29
v , м/с	0,03	0,07	0,18	0,47	1,2	2,9	7,5

Механические свойства пыли: $\gamma_{\text{м}}=1560$ кг/м³; $\gamma_{\text{п-у}}=589$ кг/м³; $\gamma_{\text{у}}=750$ кг/м³; $\alpha_{\text{ст}}=62^\circ$; $\alpha_{\text{д}}=41^\circ$; $P=108$ Па; $K_{\text{а}}<0,5\cdot 10^{-12}$ м²/кг.

Равновесная влажность пыли $\varphi_{\text{п}}$ при различной относительной влажности воздуха $\varphi_{\text{в}}$ (смачиваемость 10 %):

$\varphi_{\text{п}}, \%$	0,7	2,2	3,8	8,5	25	80
$\varphi_{\text{в}}, \%$	10	20	40	60	80	95

Характеристика газа-носителя: $t=50^\circ\text{C}$; $z=0,7$ г/м³; состав газа, % (объемн.): 100 воздух.

3. Пыль распылительной сушильной установки (типа ЗТ—50) производства амилосубилина на биохимическом предприятии. Проба отобрана из бункера циклона ($\eta=60\%$).

Морфология частиц пыли. Частицы крупнее 5 мкм овальной и сферической формы с включением осколков сфер. Мелкие частицы неправильной формы. Цвет пыли желтый ($d_{50}=27$ мкм; $\sigma=1,7$; $S_{\text{уд}}=6560$ см²/г).

Дисперсный состав (седimentация в изоамиловом спирте):

d , мкм	6,3	10	16	25	40
g , % (по массе)	98,5	95	84	58	15
v , м/с	0,2	0,5	1,3	3,1	8

Механические свойства пыли: $\gamma_{\text{м}}=1640$ кг/м³; $\gamma_{\text{п-у}}=391$ кг/м³; $\gamma_{\text{у}}=498$ кг/м³; $\alpha_{\text{ст}}=70^\circ$; $\alpha_{\text{д}}=52^\circ$; $P=52$ Па; $K_{\text{а}}<0,5\cdot 10^{-12}$ м²/кг.

Равновесная влажность пыли $\varphi_{\text{п}}$ при различной относительной влажности воздуха $\varphi_{\text{в}}$ (смачиваемость 10 %):

$\varphi_{\text{п}}, \%$	0,85	2,0	3,75	12,0	80	210
$\varphi_{\text{в}}, \%$	10	20	40	60	80	95

Характеристика газа-носителя: $t=58^\circ\text{C}$; $z=4,8$ г/м³; состав газа, % (объемн.): 100 воздух.

4. Пыль распылительной сушильной установки СРУ 8/300 ВК при производстве бациллихина на предприятии биохимических препаратов. Проба отобрана из бункера циклона ($\eta=84\%$).

Морфология частиц пыли. Частицы сферической и овальной формы с включением частиц неправильной формы размером менее 5 мкм. Частицы в проходящем свете блестящие, светло-желтые ($d_{50}=19$ мкм; $\sigma=2$; $S_{\text{уд}}=5500$ см²/г).

Дисперсный состав (седimentация в изоамиловом спирте):

d , мкм	2,5	4,0	6,3	10	16	25	40
g , % (по массе)	98,8	97	92	83	63	35	20
v , м/с	0,03	0,08	0,21	0,54	1,4	3,4	8,0

Механические свойства пыли: $\gamma_{\text{м}}=1810$ кг/м³; $\gamma_{\text{п-у}}=371$ кг/м³; $\gamma_{\text{у}}=546$ кг/м³; $\alpha_{\text{ст}}=90^\circ$; $\alpha_{\text{д}}=51^\circ$; $P=175$ Па; $K_{\text{а}}<0,5\cdot 10^{-12}$ м²/кг.

Равновесная влажность пыли $\varphi_{\text{п}}$ при различной относительной влажности воздуха $\varphi_{\text{в}}$ (смачиваемость 10 %):

$\varphi_{\text{п}}, \%$	0,85	1,6	2,8	9,0	40	150
$\varphi_{\text{в}}, \%$	10	20	40	60	80	95

Характеристика газа-носителя: $t=50^\circ\text{C}$; $z=5,4$ г/м³; состав газа, % (объемн.): 100 воздух.

5. Пыль распылительной сушильной установки ЗТ—500 производства протосубилина на предприятии биохимических препаратов. Проба отобрана из бункера циклона ($\eta=60\%$).

Морфология частиц пыли. Частицы сферической и овальной формы с включением частиц размером менее 10 мкм неправильной формы со сглаженными гранями. В проходящем свете частицы блестящие, светло-желтые ($d_{50}=24$ мкм; $\sigma=2$; $S_{\text{уд}}=3400$ см²/г).

Дисперсный состав (седimentация в изоамиловом спирте):

d , мкм	4,0	6,3	10	16	25	40
g , % (по массе)	98,2	95,5	88	73	48	18
v , м/с	0,07	0,18	0,47	1,2	2,93	7,5

Механические свойства пыли: $\gamma_{\text{м}}=1570$ кг/м³; $\gamma_{\text{п-у}}=473$ кг/м³; $\gamma_{\text{у}}=602$ кг/м³; $\alpha_{\text{ст}}=90^\circ$; $\alpha_{\text{д}}=49^\circ$; $P=152$ Па; $K_{\text{а}}<0,5\cdot 10^{-12}$ м²/кг.

Равновесная влажность пыли φ_n при различной относительной влажности воздуха φ_v (смачиваемость 5 %):

φ_n , %	0,85	1,2	3,5	15	52	125
φ_v , %	10	20	40	60	80	95

Характеристика газа-носителя: $t=62^\circ\text{C}$; $z=4,8$ г/м³; состав газа, % (объемн.): 100 воздух.

6. Пыль, выделяющаяся при сушке ферментного препарата на заводе ферментных препаратов. Проба отобрана из бункера циклона ($\eta=85\%$).

Морфология частиц пыли. Частицы овальной и сферической формы с пористой поверхностью. Мелкие частицы образуют агрегаты размером до 200 мкм. Цвет пыли желтый ($d_{50}=38$ мкм; $\sigma=4,75$; $S_{уд}=4150$ см²/г).

Дисперсный состав (ротационная сепарация в лаборатории):

d , мкм	2,5	4,0	6,3	10	16	25	40
g , % (объемн.)	96	92	88	80	73	63	48
v , м/с	0,02	0,06	0,16	0,41	1,05	2,6	6,0

Механические свойства пыли: $\gamma_m=1370$ кг/м³; $\gamma_{n-y}=430$ кг/м³; $\gamma_y=520$ кг/м³; $\alpha_{ст}=63^\circ$; $\alpha_d=42^\circ$; $P=80,5$ Па; $K_a<0,5\cdot 10^{-12}$ м²/кг.

Равновесная влажность пыли φ_n при различной относительной влажности воздуха φ_v (смачиваемость 10 %):

φ_n , %	0,6	1,8	5,0	12	21	28
φ_v , %	10	20	40	60	80	95

Характеристика газа-носителя: $t=85^\circ\text{C}$; $z=1,3$ г/м³.

7. Пыль, выделяющаяся при сушке и унаковке кормовых дрожжей на целлюлозно-бумажном комбинате. Проба отобрана из бункера циклона ($\eta=85\%$).

Морфология частиц пыли. Частицы неправильной формы с острыми гранями. Большинство частиц в отраженном свете серые, блестящие. В общей массе цвет пыли желтый ($d_{50}=13$ мкм; $\sigma=1,75$; $S_{уд}=2450$ см²/г).

Дисперсный состав (седиментация в керосине):

d , мкм	4,0	6,3	10	16	25
g , % (объемн.)	98,5	90	68	30	7
v , м/с	0,06	0,14	0,4	1,04	2,54

Механические свойства пыли: $\gamma_m=1350$ кг/м³; $\gamma_{n-y}=467$ кг/м³; $\gamma_y=653$ кг/м³; $\alpha_{ст}=66^\circ$; $\alpha_d=48^\circ$; $P=50$ Па; $K_a=1,1\cdot 10^{-12}$ м²/кг.

Равновесная влажность пыли φ_n при различной относительной влажности воздуха φ_v (смачиваемость 100 %):

φ_n , %	1,0	2,2	4,7	9,0	19	35
φ_v , %	10	20	40	60	80	95

Характеристика газа-носителя: $t=20^\circ\text{C}$; $z=0,2$ г/м³; состав газа, % (объемн.): 100 воздух.

8.10. ПЫЛИ ПРОИЗВОДСТВА УДОБРЕНИЙ

1. Пыль сушильного барабана апатитонепелинового производства. Проба отобрана из бункера электрофилтра ($\eta=97\%$).

Морфология частиц пыли. Частицы чешуйчатой и мелкозернистой формы. В проходящем свете в основном бесцветные с включением

красноватых и серо-черных частиц ($d_{50}=10$ мкм; $\sigma=4$; $S_{уд}=8320$ см²/г).

Дисперсный состав (ротационная сепарация в лаборатории):

d , мкм	2,5	4,0	6,3	10	16	25	40
g , % (по массе)	83	75	65	50	34	15	5
v , м/с	0,062	0,16	0,39	1,0	2,56	6,2	16

Механические свойства пыли: $\gamma_m=3300$ кг/м³; $\gamma_{n-y}=880$ кг/м³; $\gamma_y=1060$ кг/м³; $\alpha_{ст}=58^\circ$; $\alpha_d=49^\circ$; $P=402$ Па; $K_a=2\cdot 10^{-12}$ м²/кг.

УЭС слоя пыли при различных температурах:

УЭС, Ом·м	$4\cdot 10^{10}$	$7\cdot 10^{10}$	$4\cdot 10^{10}$	$9\cdot 10^9$	$4\cdot 10^9$	$9\cdot 10^8$
T , $^\circ\text{C}$	20	50	100	150	200	250

Химический состав пыли (рН водной вытяжки 7):

Компоненты	P ₂ O ₅	SiO ₂	CaO	MgO	Fe ₂ O ₃
Содержание, % (по массе)	16	3,7	4,8	0,4	1,7

Равновесная влажность пыли φ_n при различной относительной влажности воздуха φ_v (смачиваемость 2 %):

φ_n , %	0,19	0,3	0,32	0,32	0,35	0,47
φ_v , %	10	20	40	60	80	95

Характеристика газа-носителя: $t=130\div 140^\circ\text{C}$; $t_p^{св}=120^\circ\text{C}$.

2. Пыль, выделяющаяся при прокаливании катализаторной массы (катализатор марки НТК-4) в электрической печи ЭПБВ-15 на заводе азотных удобрений.

Морфология частиц пыли. Частицы игольчатой и ветвистой формы, образуют агрегаты в виде комьев пушистого снега. Размер агрегатов доходит до 100 мкм. В проходящем свете частицы черного цвета ($d_{50}=1,55$ мкм; $\sigma=3,6$; $S_{уд}=58300$ см²/г).

Дисперсный состав (ротационная сепарация в лаборатории):

d , мкм	1	1,6	2,5	4,0	6,3	10	14
g , % (по массе)	62	49	35	23	14,5	8	8
v , м/с	0,011	0,028	0,069	0,176	0,404	1,1	2,6

Механические свойства пыли: $\gamma_m=3800$ кг/м³; $\gamma_{n-y}=760$ кг/м³; $\gamma_y=1090$ кг/м³; $\alpha_{ст}=73^\circ$; $\alpha_d=57^\circ$; $P=526$ Па; $K_a<0,5\cdot 10^{-12}$ м²/кг.

Химический состав пыли (рН водной вытяжки 5,5):

Компоненты	ZnO	Cr ₂ O ₃	Al ₂ O ₃	CuO
Содержание, % (по массе)	11	14	19	54

Равновесная влажность пыли φ_n при различной относительной влажности воздуха φ_v (смачиваемость 70 %):

φ_n , %	0,8	1,2	1,8	2,8	4,9	9,7
φ_v , %	10	20	40	60	80	95

Характеристика газа-носителя: $t=120^\circ\text{C}$; $z=11$ г/м³.

3. Пыль, выделяющаяся при прокаливании катализаторной массы (катализатор марки ГИАП-16) в электрической печи ЭВБВ-15 на заводе азотных удобрений. Проба отобрана из газохода перед системой пылеулавливания.

Морфология частиц пыли. Частицы ветвистой формы с включением частиц овальной формы. Частицы соединяются в лучистые агрегаты, темные в проходящем свете ($d_{50}=4,1$ мкм; $\sigma=4,38$; $S_{уд}=27070$ см²/г).

Дисперсный состав (ротационная сепарация в лаборатории):

<i>d</i> , мкм	1	1,6	2,5	6,3	10	16	25	40
<i>g</i> , % (по массе)	83	74	63	40	28	19	12	6,5
<i>v</i> , м/с	0,012	0,031	0,075	0,476	1,2	3,1	7,5	19,2

Механические свойства пыли: $\gamma_m=4010$ кг/м³; $\gamma_{n-y}=950$ кг/м³; $\gamma_y=1450$ кг/м³; $\alpha_{ст}=63^\circ$; $\alpha_d=45^\circ$; $K_a=1,3 \cdot 10^{-12}$ м²/кг.

Химический состав пыли (рН водной вытяжки 6):

Компоненты	BaO	MgO	CaO	NiO	Al ₂ O ₃
Содержание, %					
(по массе)	1	8	9	25	47

Равновесная влажность пыли φ_n при различной относительной влажности воздуха φ_v (смачиваемость 100 %):

φ_n , %	1,9	2,2	3,3	5,3	8	12
φ_v , %	10	20	40	60	80	95

Характеристика газа-носителя: $t=110^\circ\text{C}$; $z=2$ г/м³.

4. Пыль, выделяющаяся при прокаливании катализаторной массы (катализатор марки НКМ-1) в электрической печи ЭПБВ-15 на заводе азотных удобрений. Проба отобрана из газохода перед системой пылеулавливания.

Морфология частиц пыли. Частицы неправильной формы со сглаженными гранями, в проходящем свете блестящие. Поверхность частиц пористая. В общей массе цвет пыли коричневый ($d_{50}=1,6$ мкм; $\sigma=3,8$).

Дисперсный состав (ротационная сепарация в лаборатории):

<i>d</i> , мкм	1	1,6	2,5	4,0	6,3	10	16
<i>g</i> , % (по массе)	63	50	37	25	15	8,7	4,7
<i>v</i> , м/с	0,011	0,028	0,069	0,176	0,404	1,1	2,8

Механические свойства пыли: $\gamma_m=3830$ кг/м³; $\gamma_{n-y}=890$ кг/м³; $\gamma_y=1140$ кг/м³; $\alpha_{ст}=45^\circ$; $\alpha_d=40^\circ$; $P=450$ Па; $K_a=1,8 \cdot 10^{-12}$ м²/кг.

Химический состав пыли (рН водной вытяжки 6,8):

Компоненты	NiO	Al ₂ O ₃	CaO+MgO
Содержание, % (по массе)	37	47	5,7

Равновесная влажность пыли φ_n при различной относительной влажности воздуха φ_v (смачиваемость 100 %):

φ_n , %	2,3	4,8	7,0	10	19	28
φ_v , %	10	20	40	60	80	95

Характеристика газа-носителя: $t=140^\circ\text{C}$; $z=43$ г/м³.

5. Пыль, выделяющаяся при сушке калийного удобрения в трубе-сушилке (производительностью 60 т/ч) в сушильном отделении обогатительной фабрики калийного комбината. Проба отобрана из газохода перед системой пылеулавливания.

Морфология частиц пыли. Частицы неправильной формы со сглаженными гранями, серые в проходящем свете. Поверхность частиц развита; мелкие частицы налипают на крупные, образуя агрегаты до 150 мкм ($d_{50}=18,5$ мкм; $\sigma=4,6$).

Дисперсный состав (ротационная сепарация в лаборатории):

<i>d</i> , мкм	1,6	2,5	4,0	6,3	10	16	25	40
<i>g</i> , % (по массе)	92,7	89	84	76	67	56	39	23
<i>v</i> , м/с	0,016	0,038	0,098	0,24	0,61	1,6	3,8	9,8

Механические свойства пыли: $\gamma_m=2050$ кг/м³; $\gamma_{n-y}=640$ кг/м³; $\gamma_y=820$ кг/м³; $\alpha_{ст}=90^\circ$; $\alpha_d=54^\circ$; $P=376$ Па; $K_a=4 \cdot 10^{-12}$ м²/кг.

Химический состав пыли (рН водной вытяжки 5,8):

Компоненты	KCl	NaCl	MgCl ₂	CaSO ₄
Содержание, % (по массе)	83,6	11,6	1,4	0,7

Равновесная влажность пыли φ_n при различной относительной влажности воздуха φ_v (смачиваемость 100 %):

φ_n , %	0,15	0,43	1,2	8,3	21	35
φ_v , %	10	20	40	60	80	95

Характеристика газа-носителя: $t=190^\circ\text{C}$; $z=140$ г/м³; содержание в газе, % (объемн.): 3,1 CO₂; 17 O₂; 11 H₂O.

6. Пыль, выделяющаяся при сушке фосфоритового флотационного концентрата в сушильном барабане (производительностью по концентрату 1300 кг/ч) на обогатительной фабрике. Проба отобрана из газохода перед пылеуловителем.

Морфология частиц пыли. Частицы крупнее 3 мкм неправильной формы со сглаженными гранями, мельче 3 мкм — овалы и сферические. Частицы пыли образуют крупные агрегаты ветвистой формы, серые, блестящие в проходящем свете ($d_{50}=5,1$ мкм; $\sigma=3,1$; $S_{уд}=13200$ см²/г).

Дисперсный состав (седиментация в изоамиловом спирте):

<i>d</i> , мкм	1	1,6	2,5	4,0	6,3	10	16	25
<i>g</i> , % (по массе)	92	85	73	58	43	28	16	8
<i>v</i> , м/с	0,009	0,023	0,055	0,14	0,35	0,88	2,3	5,5

Механические свойства пыли: $\gamma_m=2957$ кг/м³; $\gamma_{n-y}=850$ кг/м³; $\gamma_y=980$ кг/м³; $\alpha_{ст}=58^\circ$; $\alpha_d=55^\circ$; $P=1050$ Па; $K_a<0,5 \cdot 10^{-12}$ м²/кг.

Равновесная влажность пыли φ_n при различной относительной влажности воздуха φ_v (смачиваемость 87 %):

φ_n , %	0,2	0,28	0,46	0,72	1,2	2,9
φ_v , %	10	20	40	60	80	95

Характеристика газа-носителя: $t=240^\circ\text{C}$; $z=44$ г/м³; $t_p=57^\circ\text{C}$; содержание в газе, % (объемн.): 2,9 CO₂; 17,2 O₂; 17 H₂O.

7. Пыль, выделяющаяся при сушке флотационного калийно-магниевого концентрата в аппарате КС на обогатительной фабрике калийного комбината. Проба отобрана из бункера группы циклонов ($\eta=99\%$).

Морфология частиц пыли. Частицы зернистой формы с острыми гранями. В отраженном свете большинство частиц бесцветны. В общей массе цвет пыли серый ($d_{50}=180$ мкм; $\sigma=6$).

Дисперсный состав (ситовый анализ + седиментация в керосине):

<i>d</i> , мкм	>4,0	>6,3	>10	>16	>25	>40	>63	>100
<i>g</i> , % (по массе)	98	97	95	91	86	80	72	61
<i>v</i> , м/с	0,12	0,3	0,75	1,9	4,7	12	30	75

Механические свойства пыли: $\gamma_m=2500$ кг/м³; $\gamma_{n-y}=780$ кг/м³; $\gamma_y=993$ кг/м³; $\alpha_{ст}=56,5^\circ$; $\alpha_d=41^\circ$; $P<30$ Па; $K_a=8 \cdot 10^{-12}$ м²/кг.

Химический состав пыли (рН водной вытяжки 6,5):

Компоненты	K ₂ O	Na ₂ O	MgO	CaO	SO ₃	Cl _{общ}	Нераствори- мый остаток
Содержание, % (по массе)	19,8	5,1	11,4	2,9	41,6	8,6	10,1

Равновесная влажность пыли φ_n при различной относительной влажности воздуха φ_v (смачиваемость 100 %):

φ_n , %		0,21	0,53	0,97	3,1	8,3	37
φ_v , %		10	20	40	60	80	95

Характеристика газа-носителя: $t = 180 \div 205^\circ\text{C}$; $z = 388 \text{ г/м}^3$; $t_p = 50^\circ\text{C}$; содержание в газе, % (объемн.): 12,3 H₂O.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Клименко А. П., Королев В. И., Шевцов В. И. Непрерывный контроль концентрации пыли. Киев: Техніка, 1980. 181 с.
2. Алиев Г. М. Пылеулавливание в производстве огнеупоров. 2-е изд. М.: Металлургия, 1981. 184 с.
3. Коузов П. А., Скрябина Л. Я. Методы определения физико-химических свойств промышленных пылей. М.: Химия, 1983. 143 с.
4. Методические рекомендации по отбору газопылевых проб. Л.: изд. ЛенНИИгипрохим, 1977. 41 с.
5. Коузов П. А. Основы анализа дисперсного состава промышленных пылей и измельченных материалов. Л.: Химия, 1974. 279 с.
6. РТМ 46—14—10—77. Пыль промышленная. Лабораторные методы исследования физико-химических свойств.
7. Велецкий Р. К., Григина Н. Н. Измерение параметров пылегазовых потоков в черной металлургии. М.: Металлургия, 1979. 80 с.
8. Измайлов Г. А., Коганов В. Ю. — Изв. вузов. Черная металлургия, 1970, № 9, с. 26.
9. Шиман А. М., Тромза Б. М., Бромберг А. Д. и др. — Автоматизация и контрольно-измерительные приборы, 1978, № 8, с. 17.
10. Гаджиев Г. М. Фотоэлектрический концентратор пыли в дымовых газах каталитического крекинга. Охрана воздушного бассейна от пыли. Киев: изд. общ. «Знание», 1977. 22 с.
11. Бобровников Н. А. Охрана воздушной среды от пыли. М.: Стройиздат, 1971. 96 с.
12. Перегуд Е. А., Горелик Д. О. Инструментальные методы контроля загрязнения атмосферы. Л.: Химия, 1981. 382 с.
13. Измайлов Г. А. — В кн.: Применение радиоактивных изотопов и ядерных излучений в промышленности. Вып. 14. М.: ЦИТЭИ, 1961, с. 73—76.
14. Безопасность труда в промышленности, 1979, № 9, с. 12—14.
15. Лысенко И. М. — В кн.: Труды Ленинградского санитарно-гигиенического медицинского института, 1974. с. 105—108.
16. Парашин В. Б., Пожаров А. В. — Измерительная техника, 1975, № 8, с. 235.
17. Алиев Г. М. А. Пылеулавливание в производстве огнеупоров. М.: Металлургия, 1971. 224 с.
18. Алиев Г. М. А. Эксплуатация аппаратов и систем пылеулавливания на огнеупорных заводах. М.: Металлургия, 1977. 288 с.
19. Коузов П. А. Основы анализа дисперсного состава промышленных пылей и измельченных материалов. М.: Химия, 1971. 280 с.
20. Скрябин Г. М. — Промышленная и санитарная очистка газов, 1976, № 4, с. 47.
21. Булгакова Н. Т., Зеликсон Д. Л. Промышленная и санитарная очистка газов (Обзорная информация, Сер. ХМ-14). М.: Цинтихимнефтемаш, 1979. 37 с.
22. Страус В. Промышленная очистка газов: Пер. с англ. М.: Химия, 1981. 616 с.
23. Скрябина Л. Я. Атлас промышленных пылей (Обзорная информация, Сер. ХМ-14), М.: Цинтихимнефтемаш, 1982. 44 с.
24. Алиев Г. М. А., Гоник А. Е. Электрооборудование и режимы питания электрофильтров. М.: Энергия, 1971. 264 с.
25. Алиев Г. М. А. — Огнеупоры, 1967, № 9, с. 19.
26. Алиев Г. М. А., Миловидов Ю. С., Ткаченко В. М. и др. — В кн.: Электрическая очистка газов. М.: Энергия, 1968, с. 75.

27. Алиев Г. М. А., Гоник А. Е. Прибор для измерения удельного электрического сопротивления промышленных пылей «Циклоном-1». М.: ГосИНТИ, 1968, с. 1—3.
28. Алиев Г. М. А. Устройство и обслуживание газоочистных и пылеулавливающих установок. М.: Металлургия, 1983. 286 с.
29. Коузов П. А., Мальгин А. Д., Скрябин Г. М. Очистка от пыли газов и воздуха в химической промышленности. М.: Химия, 1982. 256 с.
30. Юдашкин М. Я., Карлов М. П. Механическое оборудование установок очистки газов. М.: Металлургия, 1979. 247 с.
31. Циклоны НИИОгаз: Руководящие указания по проектированию, изготовлению, монтажу и эксплуатации. Ярославль: Ярославское книжное изд-во, 1970. 250 с.
32. Строительный каталог, 4.10, раздел 1, подраздел 91. Пылеулавливатели и фильтры. Циклоны. М.: изд. ГПИ «Сантехпроект», 1979. 114 с.
33. Пейсахов И. Л., Лютин Ф. Б. Атлас диаграмм и номограмм по газопылевой технике. М.: Металлургия, 1974. 116 с.
34. Медников Н. П. Вихревые пылеуловители (Обзорная информация. Серия ХМ-14). М.: Цинтихимнефтемаш, 1975. 44 с.
35. Гурьев В. С., Успенский В. А. — Промышленная и санитарная очистка газов, 1975, № 4, с. 12—14.
36. Ужов В. Н., Вальдберг А. Ю., Мягков Б. И. и др. Очистка промышленных газов от пыли. М.: Химия, 1981. 392 с.
37. Мухомотов Р. Х. — Санитарная и промышленная очистка газов, 1980, № 3, с. 9—10.
38. Потапов О. П., Кропп Л. Д. Батарейные циклоны. М.: Энергия, 1977. 152 с.
39. Сухие и мокрые методы очистки газов с предварительной зарядкой частиц пыли [Вальдберг А. Ю., Данилин В. В., Кириш Е. В., Янковский С. С. М.: Цинтихимнефтемаш, 1983. 34 с.
40. Алиев Г. М. А. Агрегаты питания электрофильтров. М.: Энергия, 1981. 160 с.
41. Торговников Б. М., Табачник В. Е., Ефанов Е. М. Проектирование промышленной вентиляции. Киев: Будівельник, 1983. 254 с.
42. Пирумов А. И. Обеспыливание воздуха. М.: Стройиздат, 1981. 294 с.
43. Ужов В. Н., Мягков Б. И. Очистка промышленных газов фильтрацией. М.: Химия, 1970. 320 с.
44. Биргер М. И., Вальдберг А. Ю., Мягков Б. И. Справочник по пыле- и золоулавливанию. М.: Энергоатомиздат, 1983. 312 с.
45. Внутренние санитарно-технические устройства, ч. II. Вентиляция и кондиционирование воздуха. М.: Стройиздат, 1978. 512 с.
46. Газоочистные аппараты сухого и мокрого типов. Каталог. М.: Цинтихимнефтемаш, 1984. 92 с.
47. Мягков Б. И. Волокнистые туманоуловители (Обзорная информация. Сер. ХМ-14). М.: ЦНИИТЭнефтехим, 1973. 58 с.
48. Мягков Б. И., Каменщиков И. Г., Резник Ф. Б. Очистка вентиляционного воздуха гальванических ванн (Обзорная информация. Сер. ХМ-14). М.: Цинтихимнефтемаш, 1978. 48 с.
49. Мягков Б. И., Попов Ю. А. Очистка воздуха от масляного тумана на металлообрабатывающих предприятиях (Обзорная информация. Сер. ХМ-14). М.: Цинтихимнефтемаш, 1981. 32 с.
50. Решидов И. К., Янковский С. С. Основные достижения в области фильтрации (Обзорная информация. Сер. ХМ-14). М.: Цинтихимнефтемаш, 1981. 60 с.
51. Моргулис М. Л., Биргер М. И. Рукавные фильтры. М.: Машиностроение, 1977. 256 с.
52. Горячев И. К. Фильтровальные материалы для очистки газов (Обзорная информация. Сер. ХМ-14). М.: Цинтихимнефтемаш, 1980. 31 с.
53. Вершинина К. Н., Луговская Е. К., Камалетдинова Е. А. и др. — Промышленная и санитарная очистка газов, 1977, № 2, с. 4—6.
54. Пазин Л. М. — Промышленная и санитарная очистка газов, 1977, № 5, с. 2—3.
55. Гордон Г. М., Каплан В. Г., Лук В. И. — Промышленная и санитарная очистка газов, 1978, № 4, с. 4—5.
56. Информационный листок № 0016—79, сер. 03—19. М.: ЦИНТИ Миннефтехимпрома, 1979.
57. Каталог фирмы «Виллибрайтор» (Англия). Тканевые фильтры, 1982.
58. Янковский С. С., Мазус М. Г. Технологические параметры и особенности эксплуатации рукавных фильтров в различных отраслях промышленности (Обзорная информация. Сер. ХМ-14), 1984. 46 с.
59. Измоленов Ю. А. — Цемент, 1980, № 6, с. 17—18.
60. Волобуев В. Е., Башкардин В. Я., Гончаренко В. К. Применение зернистых насыпных фильтров для очистки газов от вредных примесей. (Обзорная информация. Сер. ХМ-14). М.: Цинтихимнефтемаш, 1983. 51 с.
61. Гончаренко В. К. — Стекло и керамика, 1980, № 6, с. 3—4.
62. Коверя В. М., Фокиш Г. А., Сидоренко Н. А. и др. — Промышленная и санитарная очистка газов, 1978, № 3, с. 16—17.
63. Башкардин В. Я. — Огнеупоры, 1982, № 10, с. 38—42.
64. Кабанов Н. В. Высокотемпературная очистка газов в сажевой промышленности, Ярославль: Волжское изд-во, 1975, с. 14—16.
65. Успенский В. А. — Промышленная и санитарная очистка газов, 1979, № 6, с. 7.
66. Измоленов Ю. А., Орлов Н. Л. — Труды ДНИПОТстром. Новорос-сийск: Книжное изд-во, 1978, вып. XV, с. 20—25.
67. Бергман А. С., Мельников И. Г. Пористая проницаемая керамика. М.: Стройиздат, 1969. 174 с.
68. Мальгин А. Д., Румянцев Г. А. — Промышленная и санитарная очистка газов, 1977, № 1, с. 11—13.
69. Сидоренко Н. А. — Химия и технология топлив и масел, 1979, № 8, с. 16—17.
70. Гончаренко В. К., Куркин В. П., Волобуев В. Е. и др. — Промышленная и санитарная очистка газов, 1978, № 5, с. 2—3.
71. Алиев Г. М. А. Эксплуатация и ремонт электрофильтров. М.: Энергия, 1976. 208 с.
72. Решидов И. К., Санаев Ю. И. Унос пыли в электрофильтрах (Обзорная информация. Сер. ХМ-14). М.: Цинтихимнефтемаш, 1979. 35 с.
73. Безотходные и малоотходные технологии (Обзорная информация. Сер. ХМ-14). М.: Цинтихимнефтемаш, 1983, № 4, с. 3.
74. Алиев Г. М. А., Мухай Т. И. Очистка дымовых газов на мусоро-сжигательных заводах (Обзорная информация. Сер. ХМ-14). М.: Цинтихимнефтемаш, 1977. 60 с.
75. Алиев Г. М. А. Огнеупоры, 1979, № 11, с. 4.
76. Идельчик Н. Е. Аэрогидродинамика технологических аппаратов, М.: Машиностроение, 1983. 351 с.
77. Залогин Н. Г., Яновский Л. П. Очистка дымовых газов от золы в электрофильтрах на зарубежных и отечественных электростанциях. М.: ОРГРЭС, 1964, с. 24—25.

78. Уайт Г. — В кн.: Применение сил электрического поля в промышленности и сельском хозяйстве. М.: ВНИИЭМ, 1964, с. 3—6.
79. РД РТМ 26—14—21—80. Нормативный метод расчета электрофильтров для теплоэнергетики.
80. Рихтер Л. А. Тепловые электрические станции и защита атмосферы. М.: Энергия, 1975. 312 с.
81. Кизим И. А., Решидов И. К. Конструктивные и технологические методы повышения эффективности электрофильтров при улавливании высокоомной золы (Обзорная информация. Сер. ХМ-14). М.: Цинтихимнефтемаш, 1976. 92 с.
82. Янковский С. С. Новое в электростатической очистке газов от пыли (Обзорная информация. Сер. ХМ-14). М.: Цинтихимнефтемаш, 1983. 28 с.
83. Решидов И. К., Санаев Ю. И. Унос пыли в электрофильтрах (Обзорная информация. Сер. ХМ-14). М.: Цинтихимнефтемаш, 1976. 34 с.
84. Чекалов Л. В. Электрические режимы и источники питания электрофильтров (Обзорная информация. Сер. ХМ-14). М.: Цинтихимнефтемаш, 1982. 28 с.
85. Шеваленко И. С., Мирзабекян Г. З. Защита окружающей среды от выбросов предприятий черной металлургии. М.: Черметинформация, 1981. 120 с.
86. Шеваленко И. С. — Промышленная и санитарная очистка газов, 1983, № 1, с. 13—14.
87. Шварц З. Л., Нагорный В. В. — Промышленная и санитарная очистка газов, 1980, № 5, с. 9—10.
88. Агрегаты питания электрофильтров: (Обзорная информация. Сер. ХМ-14). М.: Цинтихимнефтемаш, 1984, № 6, 14 с.
89. Труш В. И., Горвин Е. С. — Промышленная и санитарная очистка газов, 1979, № 6, с. 7.
90. Решидов И. К., Лебедюк Г. К., Вальдберг А. Ю. и др. — Промышленная и санитарная очистка газов, 1980, № 3, с. 3.
91. Доманский С. Г., Вантук С. М., Ирисов Е. А. — Промышленная и санитарная очистка газов, 1982, № 6, с. 7—8.
92. Лелюхин И. Н., Подоксин В. Г. — Промышленная и санитарная очистка газов, 1982, № 4, с. 3—4.
93. Пятигорский А. Н. — Промышленная и санитарная очистка газов, 1982, № 5, с. 4—5.
94. Проспект фирмы «Ниро Атомайзер» пылеулавливающего оборудования (Дания), 1983.
95. Смирнов Л. П., Филатов Ф. П. Монтаж электрофильтров на тепловых электростанциях. М.: Энергия, 1974. 74 с.
96. Лебедюк Г. К., Галузов В. С., Ковалевский Ю. В. и др. Распыляющие устройства в аппаратах газоочистки (Обзорная информация. Сер. ХМ-14). М.: Цинтихимнефтемаш, 1976. 51 с.
97. Головачевский Ю. А. Оросители и форсунки скрубберов химической промышленности. 2-е изд. М.: Машиностроение, 1974. 271 с.
98. Ужов В. Н., Вальдберг А. Ю. Очистка газов мокрыми фильтрами. М.: Химия, 1972. 248 с.
99. Пенный режим и пенные аппараты /Под ред. Мухленова И. П., Тарата Э. Я. Л.: Химия, 1977. 304 с.
100. Очистка газов в производстве фосфора и фосфорных удобрений /Под ред. Тарата Э. Я. Л.: Химия, 1979. 208 с.
101. Вальдберг А. Ю. Мокрые пылеуловители ударно-инерционного и форсуночного действия (Обзорная информация. Сер. ХМ-14). М.: Цинтихимнефтемаш, 1981. 38 с.
102. Каталог завершенных и перспективных разработок НИПИОТстрома. Краснодар: Краснодарское книжное изд-во, 1983. 64 с.
103. Методические рекомендации по расчету мокрых пылеуловителей. АЗ-679. М.: Госстрой СССР, ГПИ «Сантехпроект», 1976. 64 с.
104. Энергетика и охрана окружающей среды /Под ред. Залогина Н. Г. М.: Энергия, 1979. 352 с.
105. Дубинская Ф. Е., Лебедюк Г. К. Скрубберы Вентури, выбор, расчет, применение (Обзорная информация. Сер. ХМ-14). М.: Цинтихимнефтемаш, 1977. 59 с.
106. Гольдин Ш. Л., Медная С. М. — В кн.: Очистка водного и воздушного бассейна на предприятиях черной металлургии. М.: Металлургия, 1972, с. 93.
107. Трущенко Н. Г. — Регулятор уровня воды в импеллерном пылеуловителе: Труды НИПИОстрома. Краснодар: Краснодарское книжное изд-во, 1976, вып. XII, с. 172.
108. Рябчиков С. Я., Андрианов Е. И., Попов Ю. А. Пылевывозочные устройства для аппаратов газоочистки (Обзорная информация. Сер. ХМ-14). М.: Цинтихимнефтемаш, 1981. 37 с.
109. Голобурдин А. И. Пневмотранспорт сыпучих материалов на шинных заводах (Обзорная информация. Сер. ХН-12). М.: ЦНИИТЭ-нефтехим, 1981. 47 с.
110. Смолдырев А. Е. Гидро- и пневмотранспорт. М.: Металлургия, 1975. 215 с.
111. Рябчиков С. Я., Попов Ю. А., Казакова Т. М. Средства транспортирования уловленной пыли из газоочистных аппаратов (Обзорная информация. Сер. ХМ-14). М.: Цинтихимнефтемаш, 1982. 47 с.
112. Израйлевич М. Л. — Механизация и автоматизация производства, 1980, № 8, с. 15—17.
113. Зенков Р. Л. Машины непрерывного транспортирования. М.: Машиностроение, 1980. 129 с.
114. Пылевывозочное оборудование для газоочистных аппаратов: Каталог. М.: Цинтихимнефтемаш, 1981. 76 с.
115. Электрофильтры в цветной металлургии /Гончаров А. Е., Биргер М. И., Гордон Г. М. и др. М.: Металлургия, 1982. 130 с.
116. Очистка сточных вод и газовых выбросов в атмосферу в черной металлургии: Проспект. М.: Черметинформация, 1978. 20 с.
117. Рябчиков С. Я. — Промышленная санитарная очистка газов, 1980, № 2, с. 8.
118. Рябчиков С. Я. — Промышленная и санитарная очистка газов, 1980, № 1, с. 6.
119. Юдашкин М. Я., Карлов М. П. Механическое оборудование установок очистки газов. М.: Металлургия, 1979. 245 с.
120. Волжский А. В. Бетонные изделия из шлаковых и зольных материалов. М.: Стройиздат, 1969. 275 с.
121. Кушиди В. И. — Цемент, 1982, № 2, с. 12.
122. Элинзон М. Н., Васильев С. Г. Топливосодержащие отходы промышленности в производстве строительных материалов. М.: Стройиздат, 1980. 280 с.
123. Заболотский Е. З., Дымчук А. П. — Цемент, 1982, № 9, с. 12.
124. Рекитар Я. А. Использование новых легких материалов и отходов производства в строительстве. М.: Стройиздат, 1972. 280 с.
125. Сагал Л. М., Шенкер С. И. — Цемент, 1982, № 6, с. 11—12.
126. Сергеев А. М., Рибров Г. Д. — Использование золошлаковых отходов ТЭС в бетонах (Обзорная информация. Сер. 11). М.: ВНИИЭСМ, 1983, вып. 1, с. 45.
127. Васильков С. Г. — Труды ВНИИстром, 1974, вып. 29(57). 153 с.
128. Васильков С. Г. — Труды ВНИИЭСМа, 1973, вып. 25(53). 148 с.
129. Бигильдеева Г. М. Зола из отвалов ТЭС для производства глиноземного керамзита. Реф. инф. ВНИИЭСМа, 1973, сер. 11, вып. 6. 12 с.

130. Использование золы ТЭС в производстве строительных материалов. Реф. инф. ВНИИЭСМа, 1983, сер. 11, 16 с.
131. *Волжский А. В.* — Строительные материалы, 1970, № 7, с. 16—17.
132. *Руди Д. И.* — В кн.: Комплексное использование золы и шлаков ТЭС СССР и других попутных продуктов промышленности для производства строительных материалов и изделий. Киев: Будівельник, 1973, с. 23—25.
133. *Карякин В. А.* — Стекло и керамика, 1982, № 3, с. 11—12.
134. *Панов Ю. К., Горшков К. А.* — В кн.: Совершенствование проектов доменного и сталеплавильного цехов. М.: Металлургия, 1982, с. 43—47.
135. *Банит Ф. Г., Мальгин А. Д.* Пылеулавливание и очистка газов в промышленности строительных материалов. М.: Стройиздат, 1979. 351 с.
136. *Попов Ю. А., Дубинская Ф. Е., Скрябина Л. Я.* Системы очистки промышленных газов от пыли, применяемые в различных производствах (Обзорная информация, Сер. ХМ-14). М.: Цинтихимнефтемаш, 1984. 32 с.
137. *Дубинская Ф. Е.* Очистка газов чугунолитейных вагранок (Обзорная информация. Сер. ХМ-14). М.: Цинтихимнефтемаш, 1978. 81 с.
138. *Юрьев Н. В., Востряков И. М.* — Литейное производство, 1972, № 1, с. 17—18.
139. *Юдашкин М. Я.* Очистка газов в металлургии. М.: Металлургия, 1984. 320 с.
140. *Андоныев С. М., Филиппов О. В.* Пылегазовые выбросы предприятий черной металлургии. М.: Металлургия, 1979. 192 с.
141. *Исаенко Л. П.* Проблемы отсоса и очистки газов дуговых электроплавильных печей (Обзорная информация. Сер. ХМ-14). М.: Цинтихимнефтемаш, 1977. 37 с.
142. Энергетика и охрана окружающей среды /Под ред. *Кропна Л. И.* М.: Энергия, 1979. 351 с.
143. *Кисаров В. М.* Очистка отходящих газов от неприятно пахнущих веществ (Обзорная информация. Сер. ХМ-14). М.: Цинтихимнефтемаш, 1979. 50 с.
144. *Скрябина Л. Я.* Атлас промышленных пылей (Обзорная информация. Сер. ХМ-14). М.: Цинтихимнефтемаш, 1980. 47 с.
145. *Скрябина Л. Я.* Атлас промышленных пылей (Обзорная информация. Сер. ХМ-14). М.: Цинтихимнефтемаш, 1981. 36 с.
146. РД РТМ 26-14-10—78. Пыль промышленная. Лабораторные методы исследования физико-химических свойств. 30 с.
147. Продукты химические. Методы отбора и подготовки проб. СЭВ, 1965. 25 с.
148. *Левина Т. А.* — Труды Института обогащения твердых горючих ископаемых. М.: Недра, 1976, т. 5, вып. 2, с. 11—12.
149. *Градус Л. Я.* Руководство по дисперсному анализу методом микроскопии. М.: Химия, 1979. 245 с.
150. *Скрябин Г. М.* Ротационные анализаторы дисперсного состава промышленной пыли (Обзорная информация. Сер. ХМ-14). М.: ЦНИИТЭнефтехим, 1973. 36 с.
151. *Лунев В. Д.* — Порошковая металлургия, 1975, № 1, с. 27.
152. *Баранов Н. А., Строганова З. И.* — Труды /ВИУАЛ. Свердловск: Кн. изд-во, 1975, вып. 17, с. 17.
153. *Андрианов Е. И.* — Заводская лаборатория, 1972, № 3, с. 18—19.
154. Циклоны НИИОгаз. Руководящие указания по проектированию, изготовлению, монтажу и эксплуатации. Ярославль: Ярославское книжное изд-во, 1971. 94 с.
155. Физико-химические свойства пыли промышленных нерудных строительных материалов: Справочник. Краснодар: Книжное изд-во, 1974. 46 с.
156. *Вайсман Б. Л.* — В кн.: Проблемы теплоэнергетики и прикладной теплофикации. Алма-Ата: Наука, 1973, № 9, с. 11—12.
157. *Баяхунов А. Л.* — В кн.: Проблемы теплоэнергетики и прикладной теплофизики. Алма-Ата: Наука, 1966, № 3, с. 25—36.
158. *Гиллебранд В. Ф.* Практическое руководство по неорганическому анализу. М.: Гос. научно-техн. изд-во химической литературы, 1960. 96 с.
159. *Филиппова Н. А.* Фазовый анализ руд и продуктов их переработки. М.: Химия, 1975. 127 с.

ПРЕДМЕТНЫЙ УКАЗАТЕЛЬ

- Абразивность пыли** 487
Анализатор ротационный 66
Аппараты:
 золосмывные 363
 пенные 327—329
Аэрозоли 7
Влажность:
 золы 500—508
 пыли 490—499, 509—534
Возгоны 7
Волокно:
 асбестовое 158
 капроновое 159, 160
 лавсановое 158, 160
 льняное 158
 нитроновое 158, 161
 оксалоновое 159, 161
 стеклянное 158, 161
 тефлоновое 159
 хлопковое 157, 160
 хлориновое 158, 159
 шелковое 158
 шерстяное 158, 160
Газопромыватели:
 насадочные 326
 полые 325
 скрубберные центробежного действия 334
 тарельчатые 326
 ударного действия 331
Гигроскопичность 488
Запыленность газов 489—534
Затворы:
 гидравлические 363—366
 пылевые 353—363
 — винтовые 362, 363
 — дисковые 353
 — клапанные 354, 357
 — маятниковые 354—357
 — шиберные 353
 — шлюзовые 358—361
Зола уловленная 390—399
Изоляторы электрофильтров:
 бумажно-бакелитовые 252
 кварцевые 252, 253
 опорно-проходные 252, 253
 опорные 252
 разделительные 252, 254
 ситалловые 252
 фарфоровые 252, 253
Импактор каскадный 69—73
Камеры пылевые (пылеосадительные) 82—85, 132
Каплеуловители 345—349
Коагуляция 8
Конвейеры:
 винтовые 372—374
 ленточные 367
 скребковые 367—371
Концентрация 9
Коэффициент:
 абразивности пыли 487
 вероятности попадания частиц на поверхность 487
 эффективности капитальных затрат 400, 401
Материалы фильтровальные:
 волокна — см. волокно
 свойства 159, 160—161, 164—166
 структура 159
 — тканые 159
 — нетканые 159, 163
Методы измерения концентрации пыли:
 акустический 13
 весовой 11, 14
 денсиметрический 12
 оптический 13
 основанный на измерении перепада давления на фильтре 12
 пьезоэлектрический 12
 электрический 13
Микроманометр 31
Морфология частиц 485, 489—533
Окупаемость 401
Отбор пробы 39, 40
 — — периодичность 49
Перегородки:
 гибкие пористые 141
 полужесткие пористые 141
 жесткие пористые 141
Пылемеры:
 весовые 57
 зарядно-индукционные 57
 оптические адсорбционные 51
 — светорассеяния 53
 радионуклидные 57
Пылеуловители:
 инерционные 80, 86—124, 132
 вихревые 125
 — пылевые камеры 82—85
 — ротационного действия 129
 — циклоны 88—123
 мокрые 316, 333, 349
Плотность насыпная 63, 486, 489—533
Прочность разрывная 486, 487, 489—533
Расходомеры 23
Реометры 23, 24
Ротаметр 24, 25
Ротоклон «Урал» 332
Системы дисперсные 7
Скорость газового потока 487
Слон зернистые 141
Скрубберы:
 Вентури 339—344, 351
 Дойля 332
Смачиваемость 488
Состав пыли:
 дисперсный 63, 486, 489—533
 химический 489—534
Стокса закон 82
Транспорт:
 гидравлический 384
 пневматический 375—384, 389
Трубки:
 пневмометрические 19—22
 — конструкции Гинцветмета 21
 — — НИИОгаза 20
 — Пито 20
 — Прандтля 20
 пылезаборные 26, 44
Угол естественного откоса:
 статистический 486, 489
 динамический 486, 489—533
Удельная поверхность 486
Удельное электрическое сопротивление (УДС) 76, 487—489, 497, 498, 500—508, 514, 517, 520
Установки пылеулавливания и очистки газов:
 доменного газа 426—429, 475
 конвертерных газов 434—439, 475
 мартеновских печей 430—433, 474, 476
 неприятно пахнущих веществ 469, 470, 479
Производство:
 — агломерационного 419—423, 477
 — дрожжей и концентратов 466—468
 — минеральных удобрений 455—465
 — окатышей 424, 425
 — синтетических моющих средств 453—455
 — твердых бытовых отходов 471, 472, 475, 480
 цементной промышленности 406—413, 476, 477
 чугунолитейных вагранок 415—417
 электростанций 446—448, 474, 478
 электропечей 440—445, 476
Фильтры промышленные:
 бумажные 30
 грубоволокнистые 141
 зернистые 141, 206—217
 тканевые 30, 141, 153, 195
 — классификация 173
 — конструкция 173, 181
 — подбор 195
 — регенерация 176—180
 — рукавные 153, 182, 187, 188, 190—195
 — эксплуатация 217
 туманоуловители 143
 — высокоскоростные 143, 145
 — многоступенчатые 143, 146
 — — ротационные 148
 — низкоскоростные 143
 — сеточные 150
Фракция 8
Циклоны 88, 133
 — батарейные 110
 — — выбор 123
 — — расчет 120
 — групповые 90, 92, 96
 — одиночные 89, 92, 94—102
 — — выбор 123
 — — расчет 120
Электроды электрофильтров:
 желобчатые 241
 коробчатые 241
 коронирующие 245
 осадительные 240, 247
 открытого профиля 243
 сотовые 243
 трубчатые 243
Электрофильтры 224
 — интенсификация работы 300—304
 — мокрые 266
 — пластинчатые 234
 — — вертикальные 234
 — — горизонтальные 234
 — сухие 256
 — трубчатые 235
 — эксплуатация 304
 — приемно-сдаточные испытания 308
 — — технологические испытания 310
 — — неисправности 311
Эффективность:
 капитальных вложений 400, 401
 пылеулавливающего аппарата 489—493, 495, 496, 499, 501, 509, 511, 512, 513, 515—518, 521, 522, 524, 528—530, 533

Гасан Мамед-Али оглы АЛИЕВ

**ТЕХНИКА
ПЫЛЕУЛАВЛИВАНИЯ
И ОЧИСТКИ
ПРОМЫШЛЕННЫХ ГАЗОВ**

Справочник

Редакторы издательства *З. К. Зазулина, Г. К. Петрова,
Л. Б. Богуславский*

Художественный редактор *Ю. И. Смургин*

Технический редактор *Н. А. Сперанская*

Корректоры *Н. П. Собко, Ю. И. Королева*

ИБ № 2812

Сдано в набор 21.10.85. Подписано в печать 09.01.86. Т-03611. Формат бумаги 84×108^{1/32}. Бумага типографская № 2. Гарнитура литературная. Печать высокая. Усл. печ. л. 28,56. Усл. кр.-отт. 28,56. Уч.-изд. л. 41,37. Тираж 11 070 экз. Заказ 334. Цена 2 р. 50 к. Изд. № 1111.

Ордена Трудового Красного Знамени издательство «Металлургия»,
119034, Москва, Г-34, 2-й Обыденский пер., д. 14

Владимирская типография Союзполиграфпрома при Государственном
комитете СССР по делам издательств, полиграфии и книжной торговли
600000, г. Владимир, Октябрьский проспект, д. 7